



Universidad
Carlos III de Madrid

Departamento de Ingeniería Mecánica

Ingeniería Industrial

PROYECTO FIN DE CARRERA:

DISEÑO Y ANÁLISIS MECÁNICO DE ESTRUCTURAS-SOPORTE PARA FAROLAS SOLARES

Autor: Gonzalo Colino Alonso

Tutor: Higinio Rubio Alonso

Leganés, Junio de 2015

**Título: Diseño y análisis mecánico de estructuras-soporte para farolas
solares**

Autor: Gonzalo Colino Alonso

Tutor: Higinio Rubio Alonso

EL TRIBUNAL

Presidente:

Vocal:

Secretario:

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día ____
de ____ de 20 ____ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad
Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de:

VOCAL:

SECRETARIO:

PRESIDENTE:

Resumen

El principal objetivo de este proyecto es diseñar y analizar distintos modelos de estructuras-soporte de farolas solares para su instalación en un país subsahariano permitiendo que la región donde se pretende realizar la instalación no requiera de una red de suministro de electricidad. Cada diseño presenta especificaciones diferentes.

Para llevar a cabo el proyecto:

- Se recopilará la información climatológica necesaria de la región donde se pretenden instalar las farolas solares.
- Se seleccionará la normativa vigente aplicable para el diseño y el análisis de los modelos.
- Se empleará el programa informático PVsyst para seleccionar el panel fotovoltaico y la batería de cada diseño.
- Se llevarán a cabo los distintos diseños por separado debido a las distintas especificaciones que presentan cada modelo.
- Se implementará un diseño de cada estructura-soporte en un modelo 3D, desarrollado sobre el programa informático Solid Edge.
- Se simularán los distintos modelos mediante el módulo Workbench de Ansys.
- Se analizará el resultado obtenido y se estudiará su adecuación a la normativa.

Abstract

The main aim of this Project is to design and analyze various models of support-structures of solar streetlights to install in a Sub-Saharan country to allow the region where the installation is carried out doesn't require an electricity supply network. Each support-structure has different specifications.

To carry out the Project:

- The necessary climatological information from the region where it is intended to install solar streetlights will be collected.
- The applicable regulations to design and analyze the models will be selected.
- The software PVsyst will be used to select the photovoltaic panel and the battery of each model.
- The different models will be done separately because they have different specifications.
- The design of 3D each model will be developed on the software Solid Edge.
- The different models will be simulated by Workbench Ansys module.
- The results will be discussed and their relevances to the regulation will be considered.

ÍNDICE:

1. Introducción	21
1.1. Ámbito y motivación del proyecto	21
1.2. Objetivos	23
1.3. Estructura del documento	25
2. Normativa	27
2.1. Reglamento de Baja Tensión	27
2.2. Norma ITC-BT-09 "Instalaciones de alumbrado exterior."	30
2.3. Norma UNE-EN 21123-2 "Cables con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de policloruro de vinilo."	32
2.4. Norma IEC 60502-1 "Cables de tensión asignada de 1kV ($U_m=1,2kV$) a 3kV ($U_m=3,6kV$)."	34
2.5. Norma UNE-EN 40-2:2006 "Columnas y báculos de alumbrado. Requisitos generales y dimensiones."	35
2.6. Norma UNE-EN 60598-2-3:2003 "Luminarias para alumbrado público. Requisitos generales."	36
3. Estudio climatológico de la región de ubicación	40
3.1. Condiciones de cielo	40
3.2. Temperaturas	42
3.3. Precipitaciones	44
3.4. Velocidad del viento	45
3.5. Humedad relativa	46
3.6. Irradiación	46
3.7. Clasificación climática	47
4. Material para la fabricación	49
4.1. Selección del material	49
4.2. Propiedades del material	51
5. Introducción a las herramientas de diseño y de cálculo	53
5.1. Introducción a PVsyst	53
5.1.1. Módulos de PVsyst	54
5.2. Introducción a Ansys Workbench	55
5.2.1. Módulos de Ansys Workbench	55

5.3.	Introducción a Solid Edge	56
5.3.1.	Entornos de Solid Edge	57
6.	Metodología y planificación	60
6.1.	Metodología	60
6.1.1.	Requerimiento inicial	60
6.1.2.	Requisitos del cliente	60
6.1.3.	Diseño de las estructuras-soporte	61
6.1.4.	Verificación	62
6.2.	Planificación	62
7.	Solución propuesta	64
7.1.	Fijación de los parámetros dimensionales	64
7.1.1.	Selección del diámetro del conductor que reside en interior del brazo-soporte de la luminaria	64
7.1.2.	Selección de las dimensiones de fijación de la luminaria con entrada lateral	70
7.1.3.	Selección de los paneles fotovoltaicos y de las baterías	72
7.1.4.	Fijación del tamaño del habitáculo de las baterías	75
7.1.5.	Dimensiones de la puerta de acceso al habitáculo de las baterías	78
7.1.6.	Selección de la altura nominal para báculos o columnas con brazo, del saliente o vuelo y del ángulo de fijación de la luminaria	79
7.1.7.	Selección de la profundidad de empotramiento de la columna o del báculo y placa base	81
7.2.	Planos	83
7.2.1.	Plano de la puerta de acceso al habitáculo de la batería	83
7.2.2.	Plano de la luminaria	83
7.2.3.	Planos de la estructura-soporte de la luminaria de 30W	84
7.2.3.1.	<i>Alzado</i>	84
7.2.3.2.	<i>Perfil</i>	85
7.2.3.3.	<i>Planta</i>	86
7.2.4.	Planos de la estructura-soporte de la luminaria de 40W	87
7.2.4.1.	<i>Alzado</i>	87
7.2.4.2.	<i>Perfil</i>	88

7.2.4.3. Planta.....	89
7.2.5. Planos de la estructura-soporte de la luminaria de 70W	90
7.2.5.1. Alzado	90
7.2.5.2. Perfil.....	91
7.2.5.3. Planta.....	92
7.3. Representación en 3D	93
7.3.1. Estructura-soporte de la luminaria de 30W.....	93
7.3.2. Estructura-soporte de la luminaria de 40W	94
7.3.3. Estructura-soporte de la luminaria de 70W.....	95
8. Ensayos de verificación	96
8.1. Simplificaciones.....	96
8.2. Diseño de la placa para aplicar el peso de la batería	97
8.3. Diseño de la placa para aplicar la carga estática	97
8.4. Ensayo de carga estática para luminarias o partes externas montadas sobre brazo de columna o poste o sobre la parte alta de un poste.....	98
8.4.1. Resultados del ensayo de carga estática para la estructura-soporte de la luminaria de 30W	102
8.4.2. Resultados del ensayo de carga estática para la estructura-soporte de la luminaria de 40W	106
8.4.3. Resultados del ensayo de carga estática para la estructura-soporte de la luminaria de 70W	110
8.5. Ensayo de la estructura-soporte a velocidad de viento de 150km/h	114
8.5.1. Dirección de la velocidad paralela al suelo	114
8.5.1.2. <i>Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad paralela al suelo e incidente sobre la superficie libre del panel fotovoltaico para la estructura-soporte de la luminaria de 40W.....</i>	<i>122</i>
8.5.1.3. <i>Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad paralela al suelo e incidente sobre la superficie libre del panel fotovoltaico para la estructura-soporte de la luminaria de 70W.....</i>	<i>126</i>
8.5.1.4. <i>Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad paralela al suelo e incidente sobre la superficie del panel fotovoltaico que se une a la estructura-soporte de la luminaria de 30W.....</i>	<i>130</i>

8.5.1.5. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad paralela al suelo e incidente sobre la superficie del panel fotovoltaico que se une a la estructura-soporte de la luminaria de 40W.....	134
8.5.1.6. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad paralela al suelo e incidente sobre la superficie del panel fotovoltaico que se une a la estructura-soporte de la luminaria de 70W.....	138
8.5.2. Dirección de la velocidad perpendicular al panel	142
8.5.2.1. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad perpendicular al panel e incidente sobre la superficie libre del panel fotovoltaico para la estructura-soporte de la luminaria de 30W.....	147
8.5.2.2. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad perpendicular al panel e incidente sobre la superficie libre del panel fotovoltaico para la estructura-soporte de la luminaria de 40W.....	151
8.5.2.3. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad perpendicular al panel e incidente sobre la superficie libre del panel fotovoltaico para la estructura-soporte de la luminaria de 70W.....	155
8.5.2.4. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad perpendicular al panel e incidente sobre la superficie del panel fotovoltaico que se une a la estructura-soporte de la luminaria de 30W	159
8.5.2.5. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad perpendicular al panel e incidente sobre la superficie del panel fotovoltaico que se une a la estructura-soporte de la luminaria de 40W	163
8.5.2.6. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad perpendicular al panel e incidente sobre la superficie del panel fotovoltaico que se une a la estructura-soporte de la luminaria de 70W	167
8.6. Verificación	171
8.6.1. Resultados del ensayo de carga estática para la estructura-soporte de la luminaria de 70W con rigidizador	173
8.6.2. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad paralela al suelo e incidente sobre la superficie libre del panel fotovoltaico para la estructura-soporte de la luminaria de 70W con rigidizador.....	177
8.6.3. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad paralela al suelo e incidente sobre la superficie del panel fotovoltaico que se une a la estructura-soporte de la luminaria de 70W con rigidizador.....	181

8.6.4. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad perpendicular al panel e incidente sobre la superficie libre del panel fotovoltaico para la estructura-soporte de la luminaria de 70W con rigidizador.....	185
8.6.5. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad perpendicular al panel e incidente sobre la superficie del panel fotovoltaico que se une a la estructura-soporte de la luminaria de 70W con rigidizador	189
8.7. Resumen de ensayos de verificación	193
9. Conclusiones y trabajos futuros	194
9.1. Conclusiones	194
9.2. Trabajos futuros	196
10. Presupuesto	197
11. Bibliografía	199
12. ANEXOS	203
Anexo A: Informes obtenidos con el programa PVsyst.....	204
Anexo B: Fichas técnicas de las baterías seleccionadas	217
Anexo C: Fichas técnicas de los paneles fotovoltaicos seleccionados	219
Anexo D: Recomendaciones de elementos electrónicos	223

FIGURAS Y TABLAS:

Figura 1.1: Paneles fotovoltaicos formados por células fotoeléctricas.....	22
Figura 1.2: Paneles fotovoltaicos en farolas solares	23
Figura 1.3: Emplazamiento de Merzouga, en el sureste de Marruecos.....	24
Tabla 2.1: Clasificación de las tensiones eléctricas.....	28
Tabla 3.1: Leyenda de las condiciones de cielo en Merzouga.	40
Tabla 3.2: Diagramas de sectores circulares con las condiciones de cielo en Merzouga por mes	41
Tabla 3.3: Diagramas de sectores circulares con las condiciones de cielo en Merzouga por mes	42
Tabla 3.4: Diagramas de barras con las temperaturas en Merzouga por mes.	43
Tabla 3.5: Diagramas de barras con las temperaturas en Merzouga por mes.	44
Tabla 3.6: Temperaturas máximas y mínimas en Merzouga por mes.	44
Figura 3.1: Diagrama de barras con las precipitaciones en Merzouga por mes	45
Tabla 3.7: Precipitaciones en Merzouga por mes.....	45
Tabla 3.8: Velocidad media del viento en Merzouga por mes	46
Tabla 3.9: Velocidad máxima del viento en Merzouga por mes.....	46
Tabla 3.10: Humedad relativa en Merzouga por mes.....	46
Tabla 3.11: Irradiación media en Merzouga por mes	47
Figura 3.2: Mapa de clasificación del clima de Köppen-Geiger	48
Figura 4.1: Diagrama acero-carbono.....	50
Figura 4.2: Valores de las propiedades del acero recogidas en Ansys.....	52
Figura 5.1: Interfaz inicial del programa PVsyst.....	53
Figura 5.2: Módulos de PVsyst.....	54
Figura 5.3: Interfaz inicial del programa Ansys Workbench.	55
Figura 5.4: Módulos de Ansys Workbench.	56
Figura 5.5: Interfaz inicial de Solid Edge.....	57
Figura 5.6: Entornos de trabajo de Solid Edge.....	57
Figura 5.7: Interfaz del entorno pieza sólida de Solid Edge.....	59
Tabla 6.1: Cuadro de planificación.....	63
Tabla 7.1: Condiciones impuestas por cliente	64
Figura 7.1: Esquema eléctrico de la instalación	65
Tabla 7.2: Intensidades eléctricas de los cables situados en el interior del brazo-soporte de las luminarias.....	65

Tabla 7.3: Sección nominal del conductor de cobre en función de la intensidad máxima eléctrica admisible y del tipo de aislamiento.....	66
Tabla 7.4: Tipos de aislamientos.....	67
Tabla 7.5: Espesores de los tubos de aislamientos.....	67
Tabla 7.6: Espesores de revestimiento interno	68
Tabla 7.7: Diámetros ficticios	68
Tabla 7.8: Espesores de cubierta externa	69
Figura 7.2: Disposición de los conductores de cobre con sus recubrimientos dentro del brazo-soporte de la luminaria	70
Tabla 7.9: Fijaciones de la luminaria con entrada lateral.....	71
Tabla 7.10: Diámetro exterior e interior y longitud de la fijación del brazo- soporte	71
Figura 7.3: Modo de fijación de la luminaria con entrada lateral.....	71
Tabla 7.11: Requisitos para la selección.....	72
Figura 7.4: Localización de la región de ubicación	73
Figura 7.5: Irradiación y temperatura media de la región de ubicación	73
Figura 7.6: Inclinación del panel fotovoltaico.....	74
Figura 7.7: Autonomía y uso diario de la instalación	74
Tabla 7.12: Paneles fotovoltaicos y baterías seleccionados para los modelos	75
Tabla 7.13: Radio mínimo del habitáculo de las baterías.....	76
Tabla 7.14: Selección de un nuevo radio.....	76
Tabla 7.15: Aproximación del nuevo radio a las centenas	76
Tabla 7.16: Holgura para cada uno de los habitáculos	77
Tabla 7.17: Holgura nueva para la luminaria de 70W.....	77
Tabla 7.18: Radio de la base y altura seleccionados para cada habitáculo.....	78
Tabla 7.19: Dimensiones de aberturas de puertas	78
Tabla 7.20: Dimensiones seleccionadas de la puerta de acceso al habitáculo de baterías ..	79
Tabla 7.21: Altura nominal, saliente o vuelo y ángulo de fijación de la luminaria	80
Tabla 7.22: Valores seleccionados para el saliente o vuelo del brazo y el ángulo de fijación de la luminaria.....	81
Tabla 7.23: Profundidad de empotramiento mínima.	81
Figura 7.8: Profundidad de empotramiento y placa base	82
Tabla 7.24: Valores seleccionados para la profundidad de empotramiento y la placa	82
Figura 7.9: Representación en 3D de la estructura-soporte de la luminaria de 30W con su panel fotovoltaico.....	93

Figura 7.10: Representación en 3D de la estructura-soporte de la luminaria de 40W con su panel fotovoltaico.....	94
Figura 7.11: Representación en 3D de la estructura-soporte de la luminaria de 70W con su panel fotovoltaico.....	95
Figura 8.1: Placa para aplicar el peso de la batería sobre ella.....	97
Figura 8.2: Placa para aplicar la carga estática sobre ella	98
Figura 8.3: Diferentes procedimientos para el ensayo estático de resistencia a la fuerza del viento	98
Figura 8.4: Distribución uniforme de la carga estática sobre la superficie crítica	99
Tabla 8.1: Valor de la superficie crítica	99
Tabla 8.2: Velocidades del viento para cada uno de los tres diseños.....	100
Tabla 8.3: Cargas estáticas para cada uno de los tres modelos.....	100
Tabla 8.4: Cargas aplicadas en los ensayos de carga estática	101
Figura 8.5: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W	102
Figura 8.6: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W	102
Figura 8.7: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.....	103
Figura 8.8: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.....	103
Figura 8.9: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.....	104
Figura 8.10: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.....	104
Figura 8.11: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.....	105
Figura 8.12: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W	106
Figura 8.13: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W	106
Figura 8.14: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.....	107
Figura 8.15: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.....	107
Figura 8.16: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.....	108

Figura 8.17: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.....	108
Figura 8.18: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.....	109
Figura 8.19: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W	110
Figura 8.20: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W	110
Figura 8.21: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	111
Figura 8.22: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	111
Figura 8.23: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	112
Figura 8.24: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	112
Figura 8.25: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	113
Figura 8.26: Trigonometría para calcular el área proyectada del panel fotovoltaico.....	115
Tabla 8.5: Área proyectada de los paneles fotovoltaicos.....	116
Tabla 8.6: Carga sobre los paneles fotovoltaicos.....	116
Tabla 8.7: Área proyectada de los elementos restantes que ofrecen resistencia al viento	116
Tabla 8.8: Carga sobre los elementos restantes que presentan resistencia al viento	117
Figura 8.27: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W	118
Figura 8.28: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W	118
Figura 8.29: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.....	119
Figura 8.30: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.....	119
Figura 8.31: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.....	120
Figura 8.32: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.....	120
Figura 8.33: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.....	121

Figura 8.34: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W	122
Figura 8.35: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W	122
Figura 8.36: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.....	123
Figura 8.37: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.....	123
Figura 8.38: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.....	124
Figura 8.39: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.....	124
Figura 8.40: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.....	125
Figura 8.41: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W	126
Figura 8.42: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W	126
Figura 8.43: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	127
Figura 8.44: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	127
Figura 8.45: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	128
Figura 8.46: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	128
Figura 8.47: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	129
Figura 8.48: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W	130
Figura 8.49: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W	130
Figura 8.50: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.....	131
Figura 8.51: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.....	131
Figura 8.52: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.....	132

Figura 8.53: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.....	132
Figura 8.54: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.....	133
Figura 8.55: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W	134
Figura 8.56: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W	134
Figura 8.57: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.....	135
Figura 8.58: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.....	135
Figura 8.59: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.....	136
Figura 8.60: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.....	136
Figura 8.61: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.....	137
Figura 8.62: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W	138
Figura 8.63: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W	138
Figura 8.64: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	139
Figura 8.65: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	139
Figura 8.66: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	140
Figura 8.67: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	140
Figura 8.68: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	141
Figura 8.69: Trigonometría para calcular las áreas proyectadas de los elementos que presentan resistencia al viento	142
Tabla 8.9: Área proyectada de los paneles fotovoltaicos.....	143
Tabla 8.10: Área proyectada de los elementos restantes que ofrecen resistencia al viento.....	143
Tabla 8.11: Carga sobre los paneles fotovoltaicos.....	143
Tabla 8.12: Carga sobre los elementos restantes que presentan resistencia al viento ...	144

Figura 8.70: Esquema trigonométrico para descomponer la fuerza del viento	144
Tabla 8.13: Componentes de la carga sobre los paneles fotovoltaicos	145
Tabla 8.14: Componentes de la carga sobre los elementos restantes que presentan resistencia al viento	146
Figura 8.71: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W	147
Figura 8.72: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W	147
Figura 8.73: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W	148
Figura 8.74: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W	148
Figura 8.75: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W	149
Figura 8.76: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W	149
Figura 8.77: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W	150
Figura 8.78: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W	151
Figura 8.79: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W	151
Figura 8.80: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W	152
Figura 8.81: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W	152
Figura 8.82: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W	153
Figura 8.83: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W	153
Figura 8.84: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W	154
Figura 8.85: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W	155
Figura 8.86: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W	155
Figura 8.87: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W	156

Figura 8.88: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	156
Figura 8.89: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	157
Figura 8.90: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	157
Figura 8.91: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	158
Figura 8.92: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W	159
Figura 8.93: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W	159
Figura 8.94: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.....	160
Figura 8.95: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.....	160
Figura 8.96: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.....	161
Figura 8.97: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.....	161
Figura 8.98: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.....	162
Figura 8.99: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W	163
Figura 8.100: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W	163
Figura 8.101: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.....	164
Figura 8.102: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.....	164
Figura 8.103: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.....	165
Figura 8.104: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.....	165
Figura 8.105: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.....	166
Figura 8.106: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W	167

Figura 8.107: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W	167
Figura 8.108: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	168
Figura 8.109: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	168
Figura 8.110: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	169
Figura 8.111: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	169
Figura 8.112: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	170
Figura 8.113: Elemento rigidizador empleado en la luminaria de 70W.....	172
Figura 8.114: Posición del elemento rigidizador en el báculo de la estructura-soporte de la luminaria de 70W	172
Figura 8.115: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W	173
Figura 8.116: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	173
Figura 8.117: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	174
Figura 8.118: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	174
Figura 8.119: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	175
Figura 8.120: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	175
Figura 8.121: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W	177
Figura 8.122: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	177
Figura 8.123: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	178
Figura 8.124: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	178
Figura 8.125: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	179

Figura 8.126: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	179
Figura 8.127: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W	181
Figura 8.128: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	181
Figura 8.129: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	182
Figura 8.130: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	182
Figura 8.131: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	183
Figura 8.132: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	183
Figura 8.133: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W	185
Figura 8.134: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	185
Figura 8.135: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	186
Figura 8.136: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	186
Figura 8.137: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	187
Figura 8.138: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	187
Figura 8.139: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W	189
Figura 8.140: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	189
Figura 8.141: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	190
Figura 8.142: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	190
Figura 8.143: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.....	191
Figura 8.144: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W	191

Tabla 8.15: Resumen de los ensayos de verificación	193
Tabla 9.1: Componentes asignados para cada estructura-soporte	195
Figura D.1: Luminaria Ref.593 LED, de la empresa Mayja.....	224
Figura D.2: Posicionamiento óptimo de las ópticas M-Class y S-Class	225
Figura D.3: Regulador Blue Solar 12/24-10, 20A 12/24V, de la empresa Victron Energy ...	226
Figura D.4: Esquema de la conexión del regulador de carga.....	226
Figura D.5: Interruptor Crepuscular 12V/DC, de la empresa Kemo Electronic	228
Figura D.6: Esquema de la conexión del interruptor crepuscular	228
Figura D.7: Temporizador SDRC-10IP PWM Solar Charge Controller, de la empresa Remote Power.....	229

Capítulo 1

Introducción

1.1. **Ámbito y motivación del proyecto:**

La energía es la principal responsable de los problemas sociales, económicos y climáticos que existen en la Tierra. El continuo crecimiento de la población humana, las constantes subidas del precio del petróleo y el aumento de la escasez de las fuentes de energías basadas en combustibles fósiles contribuyen a agravar dichos problemas, que se manifiestan de una forma más alarmante en los países menos desarrollados.

Desde los diferentes países se intentan impulsar proyectos de investigación que tienen como objetivo la búsqueda de nuevos recursos energéticos que puedan sustituir los existentes. Estas nuevas formas de abastecimiento energético deben procurar ser más rentables, accesibles y respetuosas con el Medio Ambiente.

Aunque en actualidad existen muchos proyectos de investigación orientados a hacer un uso más eficaz de las energías renovables (como pueden ser la energía solar, la energía eólica, la energía mareomotriz, la energía de la biomasa o energía la geotérmica), los recursos de dichas energías permanecen prácticamente inexplorados.

El principal obstáculo para el uso generalizado de la energía renovable es el elevado coste de la inversión inicial, especialmente para la instalación de los equipos de explotación. Este obstáculo se hace mucho más evidente en los países más pobres por ser éstos los que más necesitan de dicha energía y por disponer de menos recursos económicos.

Estas fuentes renovables son inmunes a la volatilidad de los mercados de combustibles fósiles y, adicionalmente, conllevan el beneficio de estimular el empleo, el desarrollo tecnológico y el crecimiento económico. Es indudable que las energías renovables constituyen un elemento clave de un futuro sostenible.

Dentro de las energías renovables, la energía solar es la que permite el origen de la vida y de las restantes fuentes energéticas disponibles en la Tierra. Cada año la radiación solar suministra a la Tierra una gran cantidad de energía muy superior a la que consume la humanidad a la que no se da utilidad.

La radiación solar, mediante la utilización de paneles fotovoltaicos, posibilita la generación de energía eléctrica en el mismo lugar de consumo eliminando con ello los costes y las pérdidas derivados de su transporte y su distribución. Dicha energía es muy abundante y se puede explotar fácilmente debido a que su tecnología está muy desarrollada.



Figura 1.1: Paneles fotovoltaicos formados por células fotoeléctricas [13].

La energía eléctrica obtenida de la radiación solar se puede emplear para el alumbrado público. Se consigue así, una forma alternativa de abastecimiento de las luminarias que permite descargar la red de transporte, la de distribución e incluso instalar luminarias en zonas remotas aisladas eléctricamente.

La elección de las farolas solares para el alumbrado público permite armonizar entre el continuo crecimiento y el constante desarrollo de las infraestructuras y el aumento de la toma de conciencia de reducir las emisiones de CO₂.

Dichas farolas tienen un gasto eléctrico, procedente de la red, nulo. Esto las hace económicamente muy llamativas y ayudan a reducir las sobrecargas de los sistemas de distribución de electricidad.

Aunque son más caras que las farolas tradicionales su empleo en lugares alejados de los núcleos urbanos o en instalaciones muy complejas puede resultar económicamente mucho más ventajoso.



Figura 1.2: Paneles fotovoltaicos en farolas solares [12].

El gasto de estas farolas en mantenimiento en comparación con las farolas convencionales es muy reducido. Además los distintos elementos que componen este tipo de farolas se pueden transportar fácilmente a zonas remotas para su instalación.

Estas farolas sólo requieren de una obra de anclaje al suelo dado que gozan de autonomía para su funcionamiento mientras que las farolas convencionales requieren además la planificación y la instalación de sistemas de cables y de transformadores de corriente que suponen un coste muy elevado en comparación con la propia farola.

El avance en la técnica contribuye a obtener paneles fotovoltaicos, baterías y luminarias cada vez más baratos y eficientes. Esto se traduce en una mejora continua de los modelos que se utilizan de estas farolas.

Para la fabricación de las farolas solares también se pueden emplear materiales reciclables, lo que permite abaratar su coste de producción.

1.2. Objetivos:

El presente proyecto se realiza con el objetivo principal de obtener varios diseños de estructuras-soporte de farolas solares para ubicarlas en un país africano. Concretamente se diseñarán y se analizarán tres modelos para farolas solares de diferentes potencias (30W, 40W y 70W) y con diferentes alturas de montaje de la luminaria (3m, 6m y 8m).

La ubicación primaria para la cual se diseñarán los diferentes modelos de farola solar es Merzouga, una localidad situada al sureste de Marruecos, perteneciente a la región Mequinez-Tafilalet, en el desierto Erg Chebbi, a unos 50 kilómetros de la

frontera con Argelia (*Figura 1.3*). El diseño y el análisis de las estructuras-soporte se realizarán considerando las condiciones climáticas de dicha región.



Figura 1.3: Emplazamiento de Merzouga, en el sureste de Marruecos [14].

Este proyecto pretende colaborar en la instalación de dichas farolas solares para garantizar el abastecimiento de luz desde el ocaso hasta la salida del sol en el pueblo y también contribuir a descargar el sistema eléctrico existente en dicha región.

Debido a que Marruecos carece de una normativa sobre electrificación propia se empleará la normativa española para la justificación de los cálculos realizados durante el proyecto.

Para alcanzar el objetivo principal de este proyecto es necesario conseguir superar otros objetivos que se detallan a continuación:

- Realizar una recopilación y estudio de la normativa vigente en España aplicable para el diseño y el análisis de estructuras-soporte para farolas.
- Fijar los diferentes parámetros dimensionales de las estructuras-soporte de las farolas solares según normativa vigente en España. Para seleccionar el panel fotovoltaico y la batería de cada modelo, se utilizará el programa PVsyst.
- Proponer e implementar cada uno de los tres diseños de farola en un modelo gráfico 3D. Los modelos gráficos 3D se desarrollarán sobre el programa informático Solid Edge.
- Realizar los análisis estructurales de los tres modelos utilizando el método de los elementos finitos, según las especificaciones que solicita la normativa. Estos análisis de los modelos se efectuarán con el módulo Worckbench de Ansys.

- Verificar normativamente la adecuación de los modelos de farola propuestos.

1.3. Estructura del documento:

La memoria de este proyecto consta de once capítulos y anexos. La disposición de estos capítulos se ha escogido con la intención de seguir una metodología en la exposición de los contenidos, y para obtener la mejor comprensión del proyecto y de los objetivos a conseguir.

A continuación se procede a ver en qué consiste y qué se busca con cada uno de los capítulos incluidos en el proyecto.

Capítulo 1 : Introducción.

En este capítulo se abordará el ámbito de aplicación, donde se hará una breve introducción del problema existente y de las acciones emprendidas, los objetivos de cada fase del proyecto y la estructura del proyecto.

Capítulo 2: Normativa.

En este capítulo se recopilará toda la documentación necesaria vigente en España para la realización del proyecto y se realizará una breve introducción de la misma.

Capítulo 3: Estudio climatológico de la región de ubicación.

En este capítulo se incorporarán las condiciones climáticas de la región donde se quieren ubicar los modelos y se llevará a cabo una clasificación de dicha región según la escala Köppen-Geiger.

Capítulo 4: Material para la fabricación.

En este capítulo se elegirá el material más adecuado para la fabricación de las diferentes estructuras-soporte para las farolas solares y se expondrán sus propiedades.

Capítulo 5: Introducción a las herramientas de diseño y de cálculo.

En este capítulo se pretenderá introducir al lector en el uso de los diferentes softwares (PVsyst, Solid Edge y Workbench Ansys) que se emplearán para el diseño y el análisis de cada modelo mediante la descripción de los módulos que se utilizarán.

Capítulo 6: Metodología y planificación.

En este capítulo se definirán los diferentes hitos y fases del proyecto, estableciendo las fechas de inicio y de fin de cada hito y los recursos utilizados.

Capítulo 7: Solución propuesta.

En este capítulo se presentarán los diseños de los modelos obtenidos, mediante planos y representaciones en 3D, después de haber fijado los parámetros acordes a la normativa vigente en España.

Capítulo 8: Ensayos de verificación.

En este capítulo se ejecutarán los ensayos necesarios para poder dar validez a los diferentes diseños propuestos y se recogerán los resultados obtenidos.

Capítulo 9: Conclusiones y trabajos futuros.

En este capítulo se expondrán las conclusiones a las que se ha llegado tras la realización del proyecto y todos los conocimientos que se adquirirán en la realización. También se recogerán una gran cantidad de estudios e investigaciones que pueden derivarse del proyecto realizado.

Capítulo 10: Presupuesto.

En este apartado se adjuntará un presupuesto sobre el coste personal y el coste de los equipos que se emplearán para la llevar a cabo el proyecto.

Capítulo 11: Bibliografía.

En este apartado se citarán todas aquellas fuentes que se han visitado y consultado para la realización del proyecto: libros, manuales, apuntes, páginas web o cualquier otro formato electrónico.

Anexos.

En este apartado se incorporará la siguiente información:

Anexo A: contendrá los informes obtenidos con el programa PvSyst.

Anexo B: contendrá las fichas técnicas de las baterías seleccionadas.

Anexo C: contendrá las fichas técnicas de los paneles fotovoltaicos seleccionados.

Anexo D: contendrá algunas recomendaciones de elementos electrónicos.

Capítulo 2

Normativa

2.1. Reglamento de Baja Tensión:

Este reglamento tiene por objeto establecer las condiciones técnicas y garantías que deben reunir las instalaciones eléctricas conectadas a una fuente de suministro en los límites de baja tensión, con la finalidad de:

- Preservar la seguridad de las personas y los bienes.
- Asegurar el normal funcionamiento de dichas instalaciones y prevenir las perturbaciones en otras instalaciones y servicios.
- Contribuir a la fiabilidad técnica y a la eficiencia económica de las instalaciones.

Dicho documento contiene los requisitos técnicos que deben satisfacer las instalaciones eléctricas. Estos requisitos son actualizados periódicamente con motivo de los grandes avances tecnológicos. Dentro del entorno europeo, incluye requisitos para las instalaciones de automatización y gestión técnica de la energía, coloquialmente conocida como “domótica” y cuyo objetivo es facilitar el ahorro y la eficiencia energética.

Esta normativa incorpora también el principio de seguridad equivalente de forma que el proyectista de la instalación puede aplicar soluciones distintas de las establecidas en las normas técnicas, siempre que demuestre su equivalencia con los niveles de seguridad establecidos.

Este reglamento se aplica a las instalaciones que distribuyen la energía eléctrica, a las generadoras de electricidad para consumo propio y a las receptoras, en los siguientes límites de tensiones nominales:

- Corriente alterna: igual o inferior a 1000 voltios.
- Corriente continua: igual o inferior a 1500 voltios.

Dicho reglamento también se debe aplicar:

- A las nuevas instalaciones, a sus modificaciones y a sus ampliaciones.
- A las instalaciones existentes antes de su entrada en vigor que sean objeto de modificaciones de importancia, reparaciones de importancia y a sus ampliaciones.
- A las instalaciones existentes antes de su entrada en vigor, en lo referente al régimen de inspecciones, si bien los criterios técnicos aplicables en dichas inspecciones serán los correspondientes a la reglamentación con la que se aprobaron.

De igual manera se debe aplicar a las instalaciones existentes antes de su entrada en vigor, cuando su estado, situación o características impliquen un riesgo grave para las personas o los bienes, o se produzcan perturbaciones importantes en el normal funcionamiento de otras instalaciones, a juicio del órgano competente de la Comunidad Autónoma.

Se excluyen de su ámbito de aplicación las instalaciones y equipos de uso exclusivo en minas, material de tracción, automóviles, navíos, aeronaves, sistemas de comunicación, y los usos militares y demás instalaciones y equipos que estuvieran sujetos a reglamentación específica.

Sus instrucciones técnicas complementarias (también llamadas ITCs) pueden sustituir, modificar o complementar a las prescripciones generales del reglamento.

Las prescripciones generales de este reglamento no se deben de aplicar a las instalaciones o equipos que utilizan muy baja tensión (hasta 50V en corriente alterna y 75V en corriente continua). En su lugar se emplean las correspondientes ITCs.

A efectos de aplicación de las prescripciones presentes en este reglamento, las instalaciones eléctricas de baja tensión se clasifican, según las tensiones nominales que se les asignen, de la forma siguiente:

Tabla 2.1: Clasificación de las tensiones eléctricas [1].

	Corriente alterna (Valor eficaz)	Corriente continua (Valor medio aritmético)
Muy baja tensión	$U_n \leq 50V$	$U_n \leq 75V$
Tensión usual	$50V < U_n \leq 500V$	$75V < U_n \leq 750V$
Tensión especial	$500V < U_n \leq 1000V$	$750V < U_n \leq 1500V$

Dicho documento especifica que las tensiones nominales usualmente utilizadas en las distribuciones de corriente alterna son:

- 230V entre fases para las redes trifásicas de tres conductores.
- 230V entre fase y neutro, y 400V entre fases, para las redes trifásicas de cuatro conductores.

Cuando en las instalaciones no puede utilizarse alguna de las tensiones normalizadas en este reglamento, porque deben conectarse a o derivar de otra instalación con tensión diferente, se condiciona su inscripción a que la nueva instalación pueda ser utilizada en el futuro con la tensión normalizada que pueda preverse.

En esta publicación se establece que la frecuencia empleada en la red debe ser de 50Hz.

Este reglamento posibilita la utilización de otras tensiones y frecuencias, previa autorización motivada del órgano competente de la Administración Pública, cuando se justifique ante el mismo su necesidad, no se produzcan perturbaciones significativas en el funcionamiento de otras instalaciones y no se menoscabe el nivel de seguridad para las personas y los bienes.

Las instalaciones de baja tensión que pueden producir perturbaciones sobre las telecomunicaciones, las redes de distribución de energía o los receptores, deben estar dotadas de los adecuados dispositivos protectores.

Dicha normativa obliga a incluir junto con los equipos y materiales utilizados en las instalaciones, además de lo especificado por las directivas de la Unión Europea, las indicaciones necesarias para su correcta instalación y uso, incorporando las siguientes indicaciones mínimas:

- Identificación del fabricante, representante legal o responsable de la comercialización.
- Marca y modelo.
- Tensión y potencia (o intensidad) asignadas.
- Cualquier otra indicación referente al uso específico del material o equipo, asignado por el fabricante.

Dicho escrito responsabiliza a los órganos competentes de las Comunidades Autónomas del adecuado cumplimiento de las exigencias técnicas de los materiales y equipos sujetos a dicho reglamento.

Para las situaciones en las que en una instalación eléctrica de baja tensión se encuentran integrados circuitos o elementos sometidos a tensiones superiores a los límites definidos en el reglamento, en ausencia de indicación específica en éste, se debe cumplir con lo establecido en los reglamentos que regulen las instalaciones a dichas tensiones.

El documento recoge que las instalaciones de alumbrado exterior son aquellas que tienen por finalidad la iluminación de las vías de circulación o comunicación y las de los espacios comprendidos entre edificaciones que, por sus características o seguridad general, deben permanecer iluminados, de forma permanente o circunstancial, sean o no de dominio público.

Esta normativa estipula que las condiciones que deben reunir las instalaciones de alumbrado exterior son las correspondientes a su peculiar situación de intemperie y por el riesgo que supone que parte de sus elementos sean fácilmente accesibles.

Este reglamento también abarca prescripciones sobre otros muchos campos relacionados con los citados anteriormente:

- Los locales con características especiales.
- Los tipos de suministro.
- Las especificaciones particulares de las empresas suministradoras.
- Las acometidas de instalación y enlace.
- Las instalaciones interiores o receptoras.
- Los receptores y la puesta a tierra.
- La ejecución y la puesta en servicio de las instalaciones.
- El mantenimiento de las instalaciones.
- Las inspecciones.
- Los instaladores autorizados.
- Los accidentes.
- Las infracciones y las sanciones.

2.2. Norma ITC-BT-09 “Instalaciones de alumbrado exterior.”:

Esta instrucción complementaria se aplica a las instalaciones de alumbrado exterior, destinadas a iluminar zonas de dominio público o privado, tales como

autopistas, carreteras, calles, plazas, parques, jardines, pasos elevados o subterráneos para vehículos o personas, caminos, etc.

Igualmente incluye las instalaciones de alumbrado para cabinas telefónicas, anuncios publicitarios, mobiliario urbano en general, monumentos o similares así como todos receptores que se conecten a la red de alumbrado exterior.

Se excluyen del ámbito de aplicación de esta instrucción las instalaciones para la iluminación de fuentes y piscinas y las de los semáforos y las balizas, cuando sean completamente autónomas.

Con el fin de conseguir ahorro energético y siempre que sea posible, la instalación de alumbrado público se debe proyectar con distintos niveles de iluminación, de forma que ésta decrezca durante las horas de menor necesidad de iluminación.

Este escrito especifica que las acometidas de las instalaciones se pueden ejecutar de forma subterránea o aérea con cables aislados, y que se deben realizar de acuerdo con las prescripciones particulares de la compañía suministradora, aprobadas según lo previsto en el reglamento para este tipo de instalaciones. La acometida tiene que finalizar en una caja general de protección y a continuación de la misma se debe disponer el equipo de medida.

Las líneas de alimentación a los puntos de luz y de control, cuando existen, tienen que partir desde un cuadro de protección y control. Dichas líneas se deben proteger individualmente, con corte onipolar, en ese cuadro, tanto contra sobrintensidades (sobrecargas y cortocircuitos), como contra corrientes de defecto a tierra y contra sobretensiones cuando los equipos instalados lo precisen.

Dicho documento contempla el requerimiento de un interruptor manual que permita el accionamiento del sistema, con independencia de los demás dispositivos, si el sistema de accionamiento del alumbrado se controla con interruptores horarios o fotoeléctricos.

La envolvente del cuadro de protección y de control debe disponer de un sistema de cierre que posibilite el acceso exclusivo al mismo, del personal autorizado, con su puerta de acceso situada entre 2m y 3m. Los elementos de medidas tienen que situarse en un módulo independiente y las partes metálicas de dicho cuadro deben de estar conectadas a tierra.

Dicha norma establece el empleo de cables multipolares o unipolares con conductores de cobre y tensión asignada de 0,6/1kV. El conductor neutro de cada circuito que parte del cuadro no puede ser utilizado por ningún otro circuito.

Esta publicación obliga a que la realización de los empalmes y derivaciones se efectúe en cajas de bornes adecuadas, situadas dentro de los soportes de las luminarias, y a una altura mínima de 0,3m sobre el nivel del suelo o en una arqueta registrable, que garanticen, en ambos casos, la continuidad, el aislamiento y la estanqueidad del conductor.

La instrucción también abarca prescripciones sobre otros muchos campos relacionados con los citados anteriormente:

- La protección contra contactos directos e indirectos.
- Las puestas a tierra.
- Los equipos eléctricos de los puntos de luz.
- La instalación eléctrica de luminarias suspendidas.
- Las características de las luminarias.
- La instalación eléctrica de otros componentes.
- Las características de los soportes de luminarias.
- Las redes aéreas.
- Las redes de control auxiliares.
- Las redes subterráneas.

2.3. Norma UNE-EN 21123-2 “Cables con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de policloruro de vinilo.”:

Esta norma UNE establece la construcción, las dimensiones y las prescripciones de los ensayos de cables de energía aislados con polietileno reticulado y con cubierta de policloruro de vinilo para una tensión eficaz de 1kV, para su utilización en instalaciones fijas.

Esta instrucción recoge que las corrientes admisibles para estos tipos de cables, así como los factores de corrección que les son de aplicación, dependen del tipo de instalación a la que van destinados, debiéndose de aplicar los requisitos del Reglamento de Baja Tensión.

Los cables descritos en esta norma son adecuados para el transporte y distribución de energía eléctrica en instalaciones fijas, protegidas o no. También son adecuados para instalaciones interiores y exteriores, sobre soportes al aire, en tubos o enterrados. Sin embargo, no son aptos para instalaciones de bombas sumergidas.

Dicho documento contempla que la distancia entre la capa exterior de los cables de una bobina llena de cable para su entrega y el borde del plato de la bobina debe ser lo suficientemente grande como para impedir daños al cable.

Los extremos del cable se deben sellar de forma impermeable durante el transporte, el almacenaje y el tendido. A este respecto se deben de tener en cuenta los siguientes puntos:

- Condiciones de servicio tales como la agrupación de cables, influencia de fuentes de calor externo, resistividad térmica del terreno, profundidad de la instalación, protección contra la radiación solar, que forman la base para la selección del tipo de cable.
- Corrientes de fuga o corrientes errantes y corrosión.
- Movimientos de suelo, vibraciones y sacudidas.
- Para cables directamente enterrados se debe disponer un lecho de arena o de otro material adecuado.
- Protección contra influencias externas.

Se deben proteger los cables contra daños mecánicos que puedan sobrevenir después de la instalación. Los cables enterrados se considera que están suficientemente protegidos mecánicamente.

El documento especifica que los diámetros interiores de los conductos y tubos deben ser al menos 2 veces el diámetro del cable. En el caso de tener varios cables situados dentro de un mismo tubo éste deberá ser lo suficientemente grande para que los cables no se atasquen.

En el caso de utilizar un tubo de acero, los cables unipolares de un sistema trifásico deben pasar por el mismo tubo de acero. La norma también recomienda proteger el tubo para evitar su obstrucción con arena.

La temperatura mínima permitida para los cables durante su instalación y su montaje es de 0°C. La temperatura máxima para el aislamiento en condiciones normales de servicio es de 90°C. En condiciones de cortocircuito el aislamiento puede soportar 250°C durante un tiempo máximo de 5 segundos.

Dicho escrito determina que los cables unipolares pueden tenderse individualmente o en forma de haz. Un conjunto de cables unipolares dispuestos en forma de haz puede considerarse como un cable multiconductor.

Esta norma recoge que si los cables unipolares son instalados separadamente deben utilizarse abrazaderas hechas de plástico o de metales magnéticos.

Pueden emplearse abrazaderas de acero si el circuito magnético no está cerrado. Los cables y haces de cables deben fijarse de manera que se eviten los daños en forma de huellas penetrantes.

La norma también recoge en forma de tablas en sus anexos:

- La gama de tipos de conductores y sus secciones.
- El espesor de aislamiento.
- El espesor de revestimiento interno extruido o encintado.
- El espesor de cubierta exterior de los cables de hasta 5 conductores.
- El espesor de cubierta exterior de los cables de más de 5 conductores de la misma sección.
- El espesor de cubierta interior y exterior, espesor de flejes y diámetro de alambres de los cables armados de hasta 5 conductores.
- El espesor de cubierta interior y exterior, espesor de flejes y diámetro de alambres de los cables armados de más 5 conductores de la misma sección.

2.4. Norma IEC 60502-1 “Cables de tensión asignada de 1kV ($U_m=1,2kV$) a 3kV ($U_m=3,6kV$).”:

En esta norma se especifica la construcción, las dimensiones y las pruebas requeridas de potencia que se deben realizar en cables eléctricos con el aislamiento sólido sacado (expulsado) para las tensiones nominales de 1kV ($U_m=1,2kV$) y 3kV ($U_m=3,6kV$) para utilizarlos en instalaciones fijas como redes de distribución o en instalaciones industriales.

Dicho documento incluye también cables que presentan propiedades para reducir la propagación de las llamas en un accidente, bajos niveles de emisión de humo y ausencia de emisión de gases con halógenos cuando éstos se encuentran expuestos al fuego.

Esta instrucción no cubre cables para condiciones de instalación y de servicio especiales como pueden ser cables para redes aéreas, cables para la industria de la minería, cables para plantas de energía nuclear (tanto en la propia central como en el área de contención), cables para uso en submarinos, etc.

La normativa también abarca prescripciones sobre otros muchos campos relacionados con los citados anteriormente:

- Los aislantes compuestos.
- Los compuestos de revestimiento.
- Las temperaturas máximas para conductores.
- Los aislamientos.
- Los cables unipolares.
- Los cables multipolares.
- Las capas metálicas.
- Los conductores concéntricos.
- Las armaduras de protección.
- Las cubiertas de separación.

2.5. Norma UNE-EN 40-2:2006 “Columnas y báculos de alumbrado. Requisitos generales y dimensiones.”:

Esta norma especifica los requisitos y dimensiones para columnas y báculos de alumbrado, brazos, compartimentos de base, caminos de cables y terminales de puesta a tierra. Es aplicable a columnas rectas que no sobrepasen los 20 metros de altura para luminarias de entrada vertical o “post top”, y a báculos que no sobrepasen los 18 metros de altura para luminarias con entrada lateral.

Esta parte de la norma no intenta restringir la apariencia o forma real de la columna o brazo. La mayoría de las columnas de alumbrado tienen normalmente una sección transversal tubular escalonada, redonda, octogonal o poligonal. Las columnas y báculos de alumbrado pueden ser fabricados de distintos materiales (madera, plástico, hierro fundido, etc.) o en otras formas (de celosía y telescópica).

Esta instrucción especifica prestaciones relacionadas con los requisitos esenciales de resistencia a cargas horizontales (viento) y comportamiento en caso de impacto de vehículos (seguridad pasiva) en aplicación del Requisito Esencial N°4 de

Seguridad en uso, determinadas según los métodos de ensayo correspondientes incluidos en esta norma europea o que estén disponibles en otras normas europeas separadas.

Dicho documento permite fijar las principales dimensiones de las columnas o báculos:

- La altura nominal para columnas rectas para luminarias con entrada vertical o “post top”.
- La altura nominal para báculos o columnas con brazo.
- El saliente o el vuelo del brazo.
- El ángulo de fijación de la luminaria.
- Las aberturas de puertas y las ranuras de entradas de cables.
- Las puertas de compartimentos.
- La fijación de equipos eléctricos y los caminos de cables eléctricos.
- El grado de protección.
- Los terminales de puesta a tierra.
- La profundidad de empotramiento de la columna o báculo.
- La placa base y la placa de anclaje.
- Los acoplamientos de la luminaria.
- Las tolerancias.

2.6. Norma UNE-EN 60598-2-3:2003 “Luminarias para alumbrado público. Requisitos generales.”:

Esta parte de la Norma CEI 60598 especifica los requisitos para:

- Luminarias para el alumbrado de carreteras, calles y otras aplicaciones de alumbrado exterior público.
- Alumbrado de túneles.
- Luminarias integradas en una columna con una altura mínima total sobre el nivel del suelo de 2,5m a utilizarse con fuentes de luz eléctrica cuya tensión de alimentación no supere 1000V.

Esta documentación indica que las luminarias integradas en una columna con una altura total inferior a 2,5m se encuentran en estudio.

Los ensayos deben ejecutarse en el orden especificado en esta sección. Con el objeto de facilitar los ensayos, y debido a las dimensiones de las muestras, se permite utilizar únicamente las partes correspondientes de las luminarias (esto es fundamentalmente aplicable a las luminarias integradas en una columna).

Dicho escrito establece que las luminarias de alumbrado público deben estar normalmente equipadas para satisfacer uno o varios de los siguientes modos de instalación:

- Sobre un tubo (abrazadera) o similar.
- Sobre un brazo de una columna o poste.
- Sobre la parte alta de un poste.
- Por cables fiadores o cables de suspensión.
- Sobre un muro o pared.

Además obliga a suministrar las informaciones siguientes en las instrucciones que acompañan a la luminaria:

- Posición normal de funcionamiento.
- Peso, incluido el dispositivo de control de la lámpara, si existe.
- Dimensiones exteriores totales.
- Si está prevista para el montaje a una altura de más de 8 metros por encima del nivel del suelo, la máxima superficie proyectada sometida a la fuerza del viento.
- Si es aplicable, la gama de secciones de los cables de suspensión adecuados a la luminaria.
- La posibilidad de uso en el interior de forma que la tolerancia de 10°C considerada para tener en cuenta el efecto del aire natural en movimiento se cumpla.
- Dimensiones del compartimento donde se coloca la caja de conexión.
- El par de ajuste que se debe aplicar a los tornillos o tuercas que fijan la luminaria a su soporte, expresado en Newtons-metro.

La normativa también contempla que las luminarias de alumbrado público deben de tener una protección contra la penetración de agua de al menos IPX3, excepto las luminarias para alumbrados de túneles y en la parte de vidrio de las

luminarias integradas en una columna donde la parte externa es abierta, en las que se requiere un grado de protección IPX5.

Para luminarias integradas en una columna, incluida la puerta de acceso, determina que la clasificación IP debe ser la siguiente:

- Partes por debajo de 2,5m: IP3X.
- Partes por encima de 2,5m: IP2X.

Las luminarias previstas para ser suspendidas de cables fiadores deben disponer de un dispositivo de fijación adecuado y debe indicarse en las instrucciones que acompañan a la luminaria la gama de los cables fiadores para las que los dispositivos de fijación son adecuados. Dicho dispositivo debe fijar el cable fiador de tal manera que evite todo movimiento de la luminaria en relación con el mismo.

Estos dispositivos de suspensión no deben dañar el cable fiador ni durante la instalación, ni durante el uso normal de la luminaria. Su conformidad se verifica mediante inspección.

Dicho documento también expone que los medios de fijación de la luminaria o de la parte externa de su soporte, deben ser apropiados al peso de la luminaria o de la parte externa. La fijación debe estar concebida para soportar velocidades de viento de 150 km/h sobre la superficie proyectada del conjunto, sin deformación excesiva.

Las partes que soportan el peso de la luminaria o de la parte externa y de sus accesorios internos, deben estar provistas de dispositivos que eviten el desplazamiento de cualquier parte de la luminaria o de la parte externa de la vibración, ya sea en servicio o durante su mantenimiento.

Las partes de las luminarias o de las partes externas que no estén fijadas al menos por dos dispositivos de fijación, por ejemplo tornillos u otro medio equivalente de rigidez suficiente, deben llevar una protección complementaria a fin de evitar en caso de rotura de uno de estos dispositivos en condiciones normales, que la caída de estas partes suponga un peligro para la personas, animales o entorno.

Esta instrucción estipula que para las luminarias de túneles no es necesario realizar el ensayo de fuerza de viento.

Los ensayos a realizar que recoge esta normativa son los siguientes:

- Ensayo de carga estática para luminarias o partes externas montadas sobre brazo de columna o poste o sobre la parte alta de un poste.

- Ensayo de las cubiertas de cristal.
- Ensayo de la puerta de acceso de una luminaria integrada en una columna.
- Ensayos de cableado interno y externo.
- Ensayos de protección contra choques eléctricos.
- Ensayos de endurecimiento y calentamiento.
- Ensayo de resistencia a la penetración de polvo y humedad.
- Ensayo de resistencia de aislamiento y rigidez dieléctrica.
- Ensayo de resistencia al calor, al fuego y a las corrientes superficiales.




Capítulo 3

Estudio climatológico de la región de ubicación

3.1. Condiciones de cielo:

En este apartado se recogen las condiciones de cielo (*Tabla 3.2 y Tabla 3.3*) que presenta la región donde se van a ubicar las farolas solares por mes mediante la utilización de diagramas de sectores circulares con porcentajes. Para facilitar la comprensión de dichos diagramas se incorpora la siguiente leyenda (*Tabla 3.1*):

Tabla 3.1: Leyenda de las condiciones de cielo en Merzouga.

Color	Condiciones de cielo
	Despejado
	Parcialmente despejado
	Mayormente nublado
	Nublado
	Lluvia
	Cubierto
	Tormenta eléctrica
	Chubascos

Los diagramas de sectores circulares sobre las condiciones de cielo en Merzouga con sus respectivos porcentajes para cada uno de los meses del año que se han obtenido son los que se muestran a continuación:

Tabla 3.2: Diagramas de sectores circulares con las condiciones de cielo en Merzouga por mes [15].

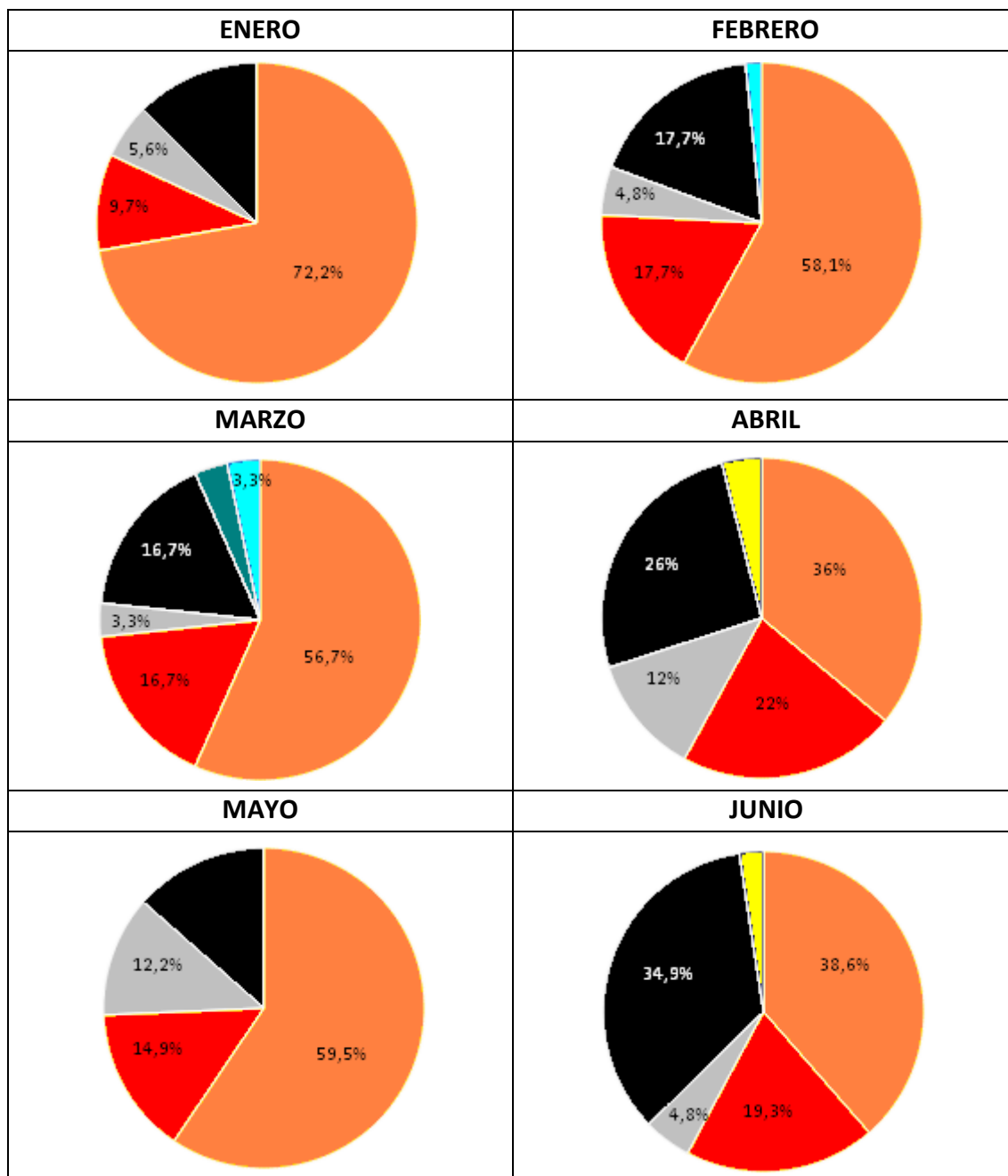
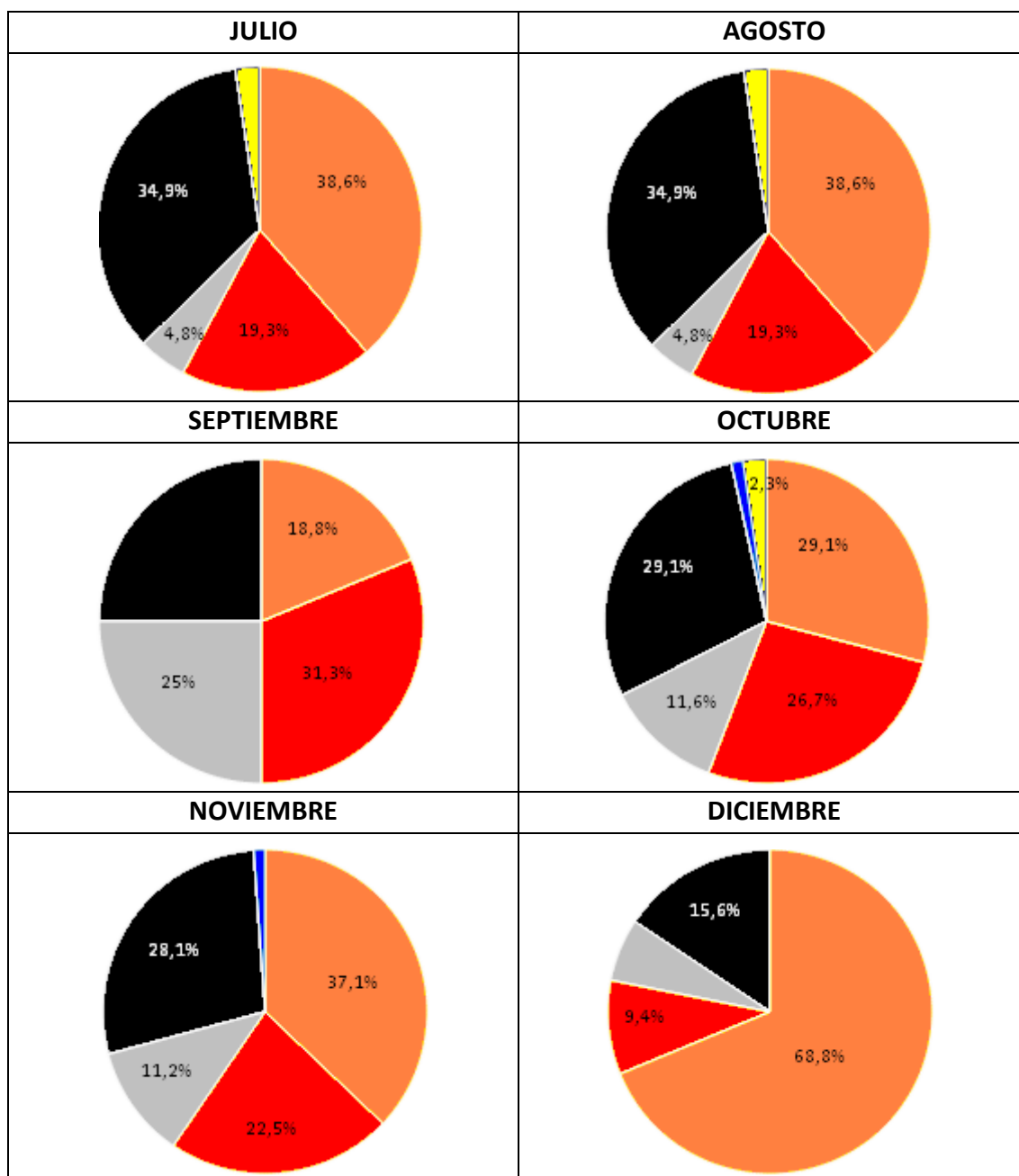


Tabla 3.3: Diagramas de sectores circulares con las condiciones de cielo en Merzouga por mes [15].



3.2. Temperaturas:

En este apartado se informa de las temperaturas (*Tabla 3.4, Tabla 3.5 y Tabla 3.6*) que presenta la región donde se van a ubicar las farolas solares por mes mediante la utilización de diagramas de barras y una tabla. Para facilitar su comprensión se recuerda que en los diagramas de tres barras, la barra roja se corresponde con los primeros días de cada mes, la de color naranja se corresponde con los días de

mediados de mes y la barra amarilla se corresponde con los últimos días del mes. En el caso de los diagramas de dos barras, la barra roja se corresponde con los días de la primera mitad del mes y la barra naranja se corresponde con los días de la segunda mitad. En el caso de los diagramas con una barra, ésta se corresponde con todos los días del mes. Las temperaturas que aparecen reflejadas en los diferentes diagramas de barras y en la tabla están expresadas en grados centígrados.

Tabla 3.4: Diagramas de barras con las temperaturas en Merzouga por mes [15].

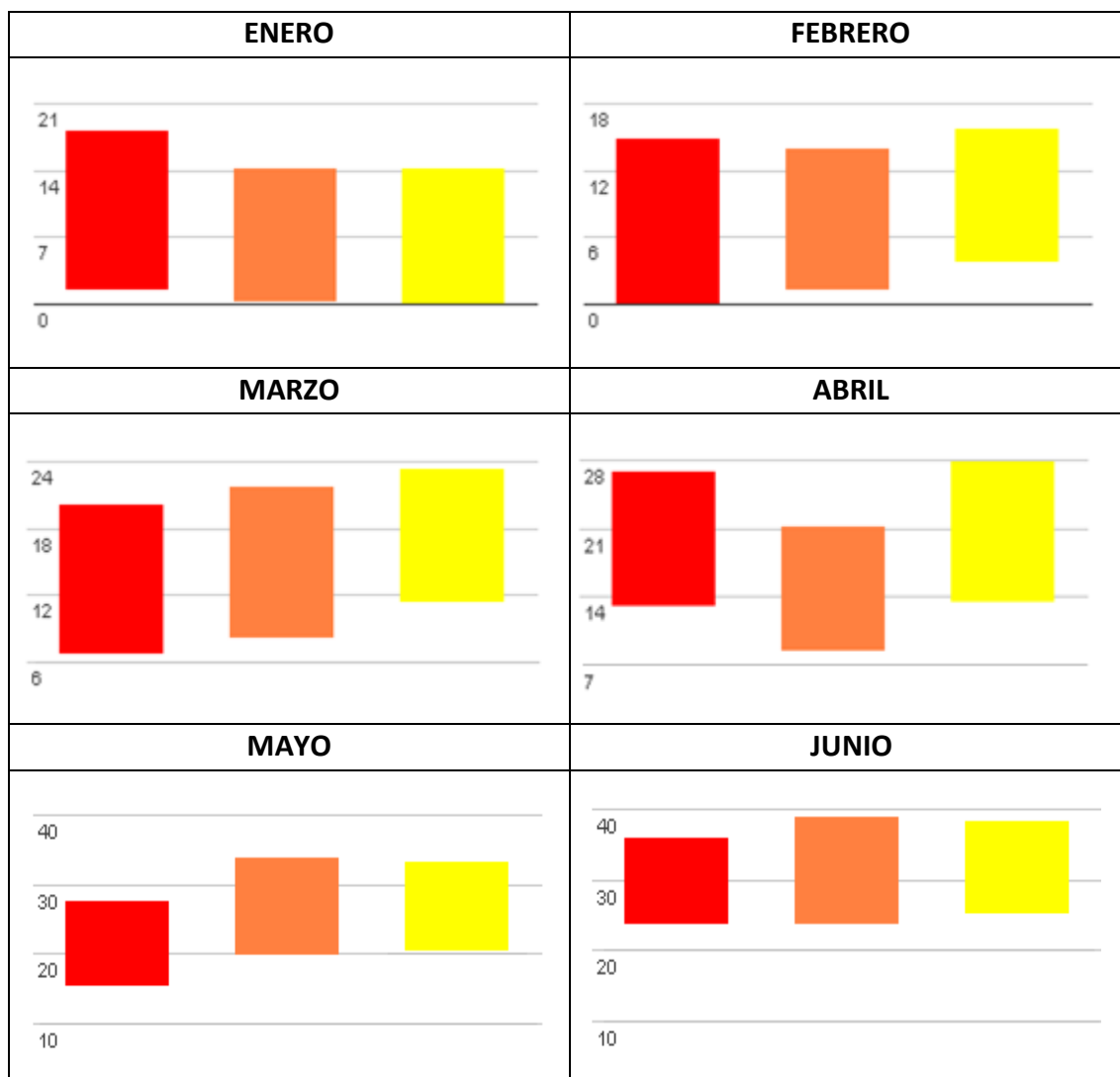
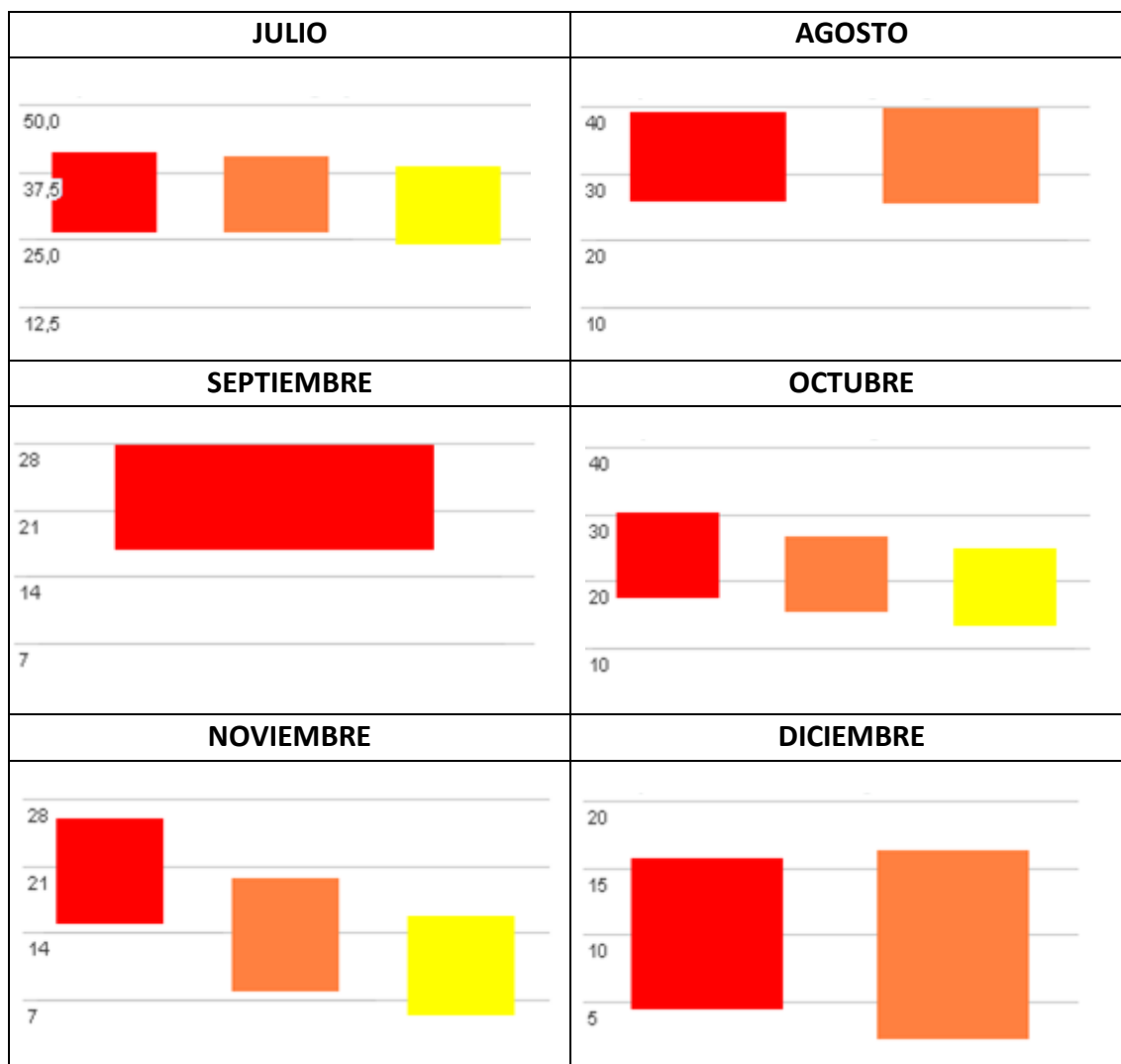


Tabla 3.5: Diagramas de barras con las temperaturas en Merzouga por mes [15].



Mediante la utilización de estos diagramas se pueden obtener las variaciones de temperatura (*Tabla 3.6*) que sufre la región de ubicación por mes:

Tabla 3.6: Temperaturas máximas y mínimas en Merzouga por mes.

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0/19	0/16	7/23	8/28	15/34	24/38	24/42	25/40	16/29	13/31	5/27	3/17

3.3. Precipitaciones:

En este apartado se incorporan los niveles de lluvia (*Figura 3.1 y Tabla 3.7*) que presenta la región donde se van a ubicar las farolas solares por mes mediante la utilización de un diagrama de barras y una tabla. Para facilitar la comprensión se

recuerda que este diagrama de barras y la tabla se corresponden con la media de las precipitaciones de cada mes en mm.

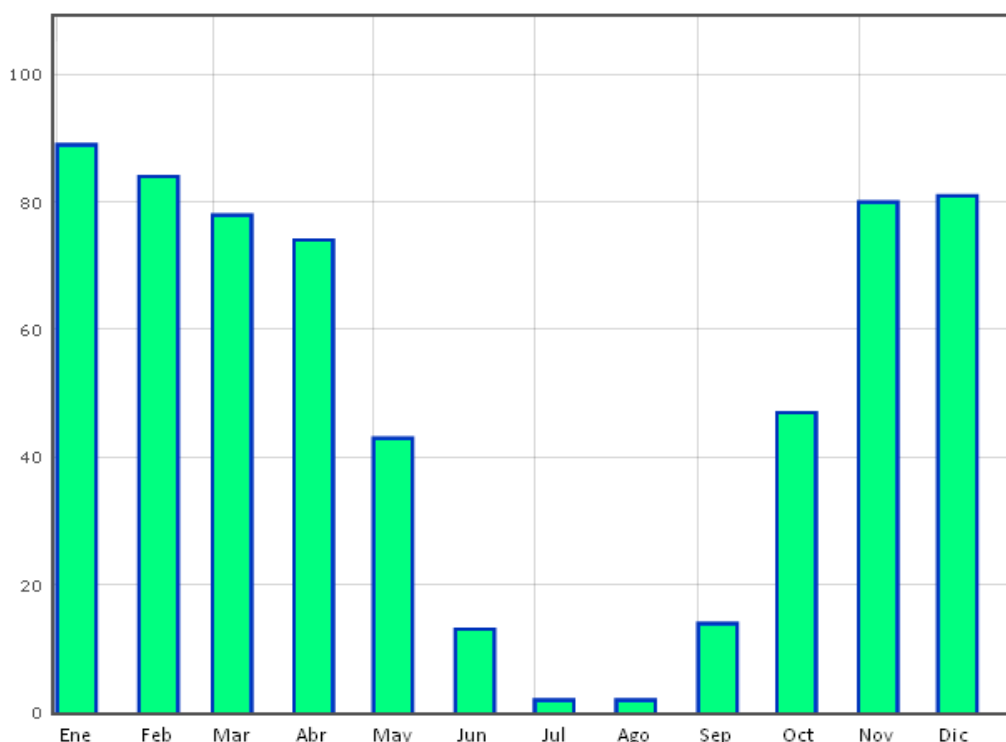


Figura 3.1: Diagrama de barras con las precipitaciones en Merzouga por mes [16].

Recogiendo los valores del diagrama de barras anterior en forma de tabla quedan de la siguiente manera:

Tabla 3.7: Precipitaciones en Merzouga por mes [16].

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
89	84	78	74	43	13	2	2	14	47	80	81

3.4. Velocidad del viento:

En este apartado se exponen las velocidades medias (*Tabla 3.8*) y las velocidades máximas del viento (*Tabla 3.9*) que presenta la región donde se van a ubicar las farolas solares por mes mediante la utilización de dos tablas. Las velocidades que aparecen reflejadas en las siguientes tablas están expresadas en km/h.

Tabla 3.8: Velocidad media del viento en Merzouga por mes [17].

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
10,6	11,1	11,5	11,4	11,1	10,3	9,2	9,4	9,9	10,0	10,7	11

- **NOTA:** las velocidades que aparecen reflejadas en la tabla anterior se corresponden con la media obtenida por mes desde enero de 2000 hasta diciembre de 2014.

Tabla 3.9: Velocidad máxima del viento en Merzouga por mes [17].

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
52	38	20	57	25	12	16	9,4	9,9	17	39	26

3.5. Humedad relativa:

En este apartado se incorporan las humedades relativas (*Tabla 3.10*) que presenta la región donde se van a ubicar las farolas solares por mes mediante la utilización de una tabla. Para ayudar a su comprensión se recuerda que esta tabla se corresponde con la media de la humedad relativa de cada mes.

Tabla 3.10: Humedad relativa en Merzouga por mes [18].

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
41	32	25	21	21	15	12	15	21	26	35	44

3.6. Irradiación:

En este apartado se expone la irradiación media (*Tabla 3.11*) que presenta la región donde se van a ubicar las farolas solares por mes mediante la utilización de una tabla. Las irradiaciones medias que aparecen reflejadas en la siguiente tabla están expresadas en kWh/m².día.

Tabla 3.11: Irradiación media en Merzouga por mes [21].

Mes	Irradiación
Enero	3,82
Febrero	4,73
Marzo	6,29
Abril	7,02
Mayo	7,62
Junio	7,92
Julio	7,47
Agosto	6,94
Septiembre	5,94
Octubre	5,03
Noviembre	3,98
Diciembre	3,40

3.7. Clasificación climática:

En este apartado se lleva a cabo la clasificación de la región donde se va a realizar la instalación aplicando la escala de Köppen-Geiger, que permite identificar el tipo de clima de cada zona con una serie de letras que indican el comportamiento de las temperaturas y precipitaciones en la misma.

Según la leyenda del mapa de la figura siguiente (*Figura 3.2*), la región donde se van a ubicar las farolas solares se corresponde con un clima árido cálido (BWh). Este tipo de clima se caracteriza por tener una temperatura media anual superior a los 18°C y por unas precipitaciones escasas e irregulares anuales que oscilan entre los 150 y 750 mm. En este tipo de regiones el suelo suele ser de color rojizo pardo, con escasa vegetación y muy erosionado debido a la acción del viento.

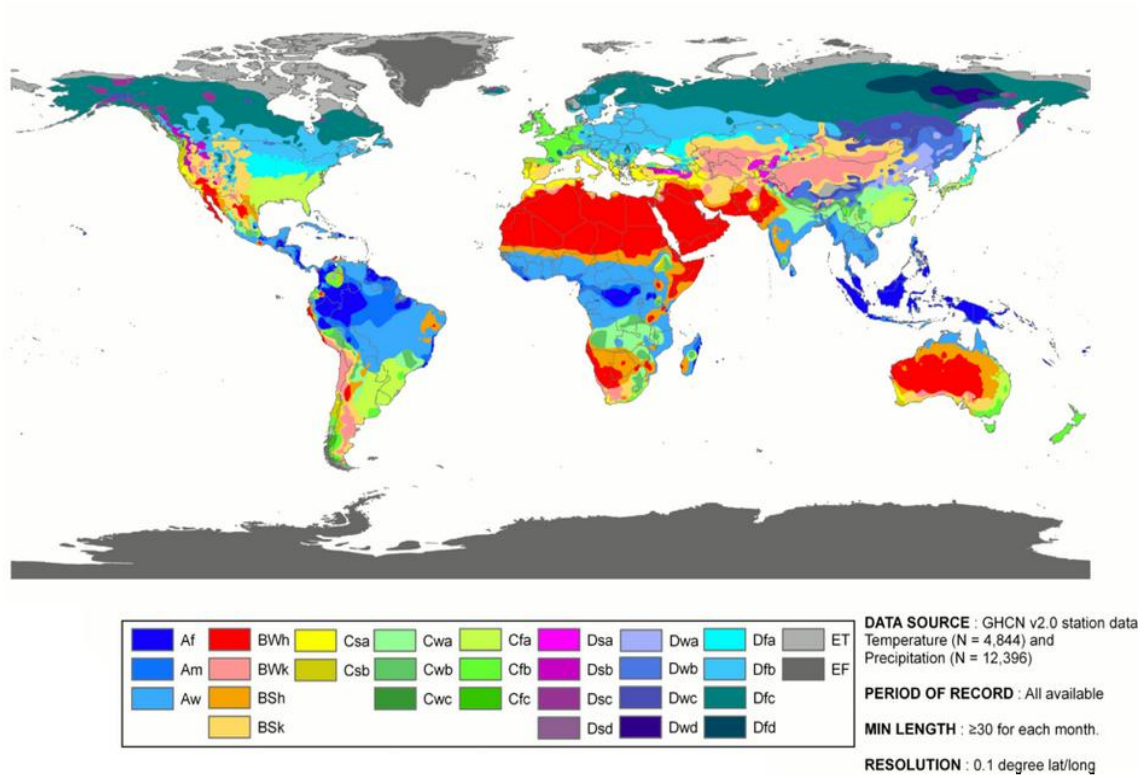


Figura 3.2: Mapa de clasificación del clima de Köppen-Geiger [19].

Capítulo 4

Material para la fabricación

4.1. Selección del material:

Para la fabricación de este tipo de construcciones se emplea acero.

El acero es una aleación de hierro y de carbono en la que el porcentaje de carbono en peso se sitúa entre el 0,03% y el 1,075%. Se trata de un material que se puede deformar fácilmente en caliente mediante forja, laminación o extrusión. Los porcentajes superiores al 2% de carbono dan lugar a las fundiciones que son mucho más frágiles que los aceros y sólo pueden ser moldeadas.

Junto a los dos componentes necesarios antes indicados para obtener acero se suelen emplear otros como el níquel, el cromo y el molibdeno para incrementar la resistencia o para facilitar algún proceso de fabricación como puede ser el mecanizado.

Aunque su uso en determinadas aplicaciones se ve fuertemente condicionado por las ventajas que ofrecen otros materiales como el aluminio (más ligero y resistente a la corrosión) sigue utilizándose mucho debido a que su coste es más reducido que el de otras aleaciones por los motivos siguientes:

- Existen numerosos yacimientos de mineral de hierro suficientemente ricos, puros y fáciles de explotar, además de la posibilidad de reciclar la chatarra.
- Sus procedimientos de fabricación son relativamente simples y económicos.
- Presenta una interesante combinación de propiedades mecánicas que pueden modificarse dentro de un amplio rango variando los componentes de la aleación y sus cantidades, o mediante la aplicación de tratamientos térmicos, químicos y mecánicos.
- Su plasticidad permite obtener piezas de formas geométricas complejas con relativa facilidad.

- La experiencia acumulada en su utilización permite realizar predicciones de su comportamiento, reduciendo los costes de diseño y los plazos de puesta en el mercado.

Se debe mencionar que el acero tiene diferentes constituyentes si se enfría o se calienta lentamente según la temperatura y el porcentaje de carbono que posea que afectarán a sus propiedades mecánicas y químicas. Este fenómeno se puede observar en la siguiente figura:

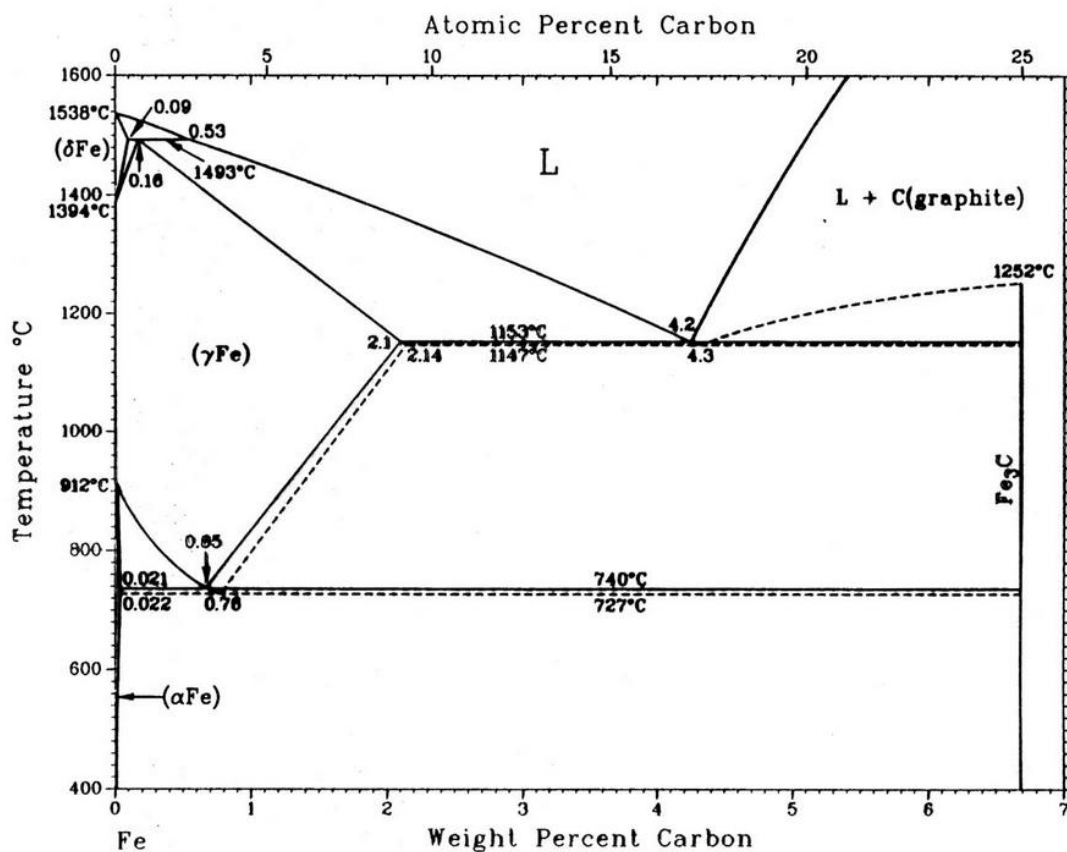


Figura 4.1: Diagrama acero-carbono [22].

La buena relación que existe entre la calidad y el precio junto con la posibilidad de alearlo con otros elementos para mejorar sus propiedades mecánicas y químicas hacen del acero una elección muy adecuada para la construcción de las estructuras-soporte de las farolas solares.

4.2. Propiedades del material:

El acero tiene una densidad que triplica a la del aluminio (7850kg/m^3). Aún así la cantidad de material necesaria para la construcción de las estructuras-soporte de las farolas solares es reducida. Esto implica que el peso no es un factor clave a la hora de elegirlo como material para llevarlas a cabo.

La dureza del acero, por otro lado, se puede aumentar aleándolo con otros elementos químicos mediante tratamientos térmicos, termoquímicos, mecánicos y superficiales.

Este material debido a su carácter metálico posee una elevada capacidad para conducir la corriente eléctrica. Sin embargo la normativa vigente que vamos a emplear para el diseño de las estructuras-soporte nos obliga a utilizar elementos de protección para descargas eléctricas, como recubrimientos aislantes en los cables y la puesta a tierra de la estructura, con lo que esto tampoco se puede considerar una desventaja para su elección.

Otra gran ventaja de este material es que su coeficiente de dilatación ($\alpha=0,000012\text{K}^{-1}$ cuando $T<100^\circ\text{C}$) es bajo en comparación con el del aluminio ($\alpha=0,000024\text{K}^{-1}$ cuando $T<100^\circ\text{C}$). Esto hace que su empleo en lugares cálidos sea más adecuado que el uso de aluminio.

El mayor problema de este material reside en la facilidad de corrosión que tiene el hierro, que se oxida incrementando su volumen y provocando grietas superficiales que posibilitan el progreso de la oxidación hasta que se consume la estructura por completo. Para solucionar este problema se pueden utilizar pinturas con minio, pigmento de color rojo utilizado para proteger los metales de la corrosión, o utilizando aleaciones de acero resistentes a la corrosión.

La siguiente imagen (*Figura 4.2*) recoge los valores de las propiedades del acero que tiene el módulo Workbench del programa Ansys y que son las que se utilizarán durante los ensayos.




















Properties of Outline Row 5: Structural Steel			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	 Density	7850	kg m ⁻³ 
3	  Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
6	  Isotropic Elasticity		
12	  Alternating Stress Mean Stress	 Tabular	
16	  Strain-Life Parameters		
24	 Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa 
25	 Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa 
26	 Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa 
27	 Compressive Ultimate Strength	0	Pa 

Figura 4.2: Valores de las propiedades del acero recogidas en Ansys.

Capítulo 5

Introducción a las herramientas de diseño y de cálculo

5.1. Introducción a PVsyst:

PVsyst es una herramienta utilizada para desarrollar instalaciones fotovoltaicas mediante el estudio, la simulación y el análisis de datos completos de los sistemas fotovoltaicos. Este software posibilita dimensionar el tamaño de las instalaciones teniendo en cuenta la radiación solar que recibiría en función de su ubicación gracias a su base de datos meteorológica, que permite su diseño en 3D y que tiene en cuenta la proyección de sombras gracias a la simulación del movimiento del sol durante el día.



Figura 5.1: Interfaz inicial del programa PVsyst.

5.1.1. Módulos de PVsyst:

El programa PVsyst tiene los siguientes módulos (*Figura 5.2*): Proyecto, Orientación, Perfil obstáculos, Sombras cercanas, Sistema, Module layout y Simulación.

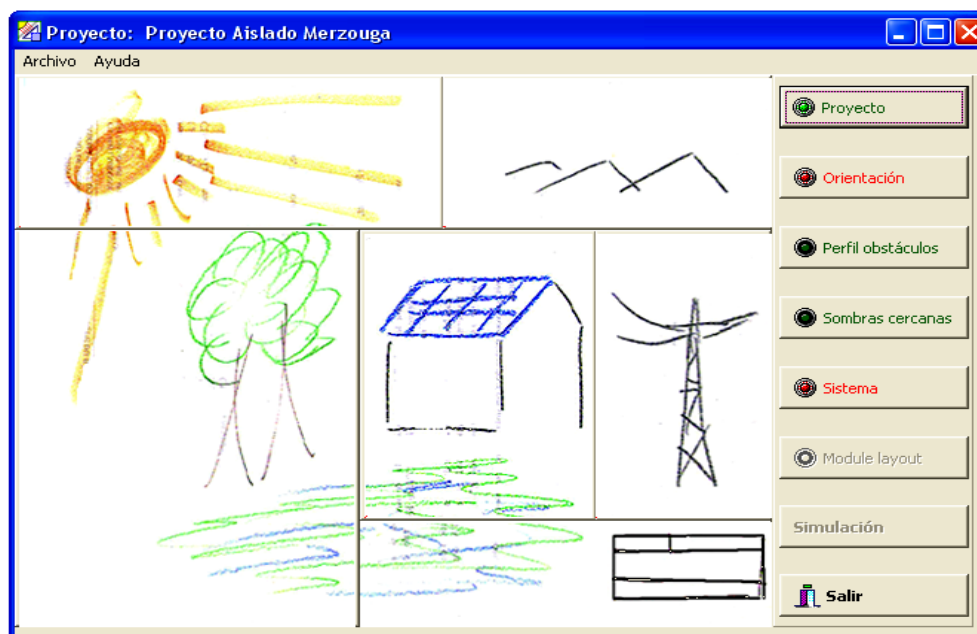


Figura 5.2: Módulos de PVsyst.

Los módulos que se emplean para el proyecto son los siguientes:

- **Proyecto:** permite modificar el nombre que tiene por defecto el proyecto, seleccionar el lugar de instalación de una base de datos interna del programa o introducir una nueva ubicación de manera manual.
- **Orientación:** facilita cambiar la inclinación del panel fotovoltaico así como el tipo de campo (es decir, si se trata de un plano inclinado fijo o móvil).
- **Sistema:** posibilita la elección del panel fotovoltaico, de la batería, de la autonomía, del uso diario y de la potencia de la luminaria, entre otras opciones.
- **Simulación:** genera un informe que proporciona información sobre la energía generada y consumida por la instalación.

5.2. Introducción a Ansys Workbench:

Se trata de un software ingenieril que está desarrollado para trabajar bajo la teoría de elementos finitos para estructuras y volúmenes finitos para fluidos.

Este programa se encuentra dividido en tres herramientas principales llamadas módulos: pre-procesador, procesador y post-procesador. El pre-procesador y el post-procesador disponen de una interfaz gráfica. En el pre-proceso se definen los materiales, se diseña el modelo y se genera la malla de elementos finitos. En el proceso se aplican las cargas, se fijan las condiciones de contorno y se genera la solución.

Dicho software permite realizar un gran variedad de ensayos distintos (térmico, estructural, transitorio, estático, dinámico, fluido, pandeo, modal, magnetostático, eléctrico, etc.).

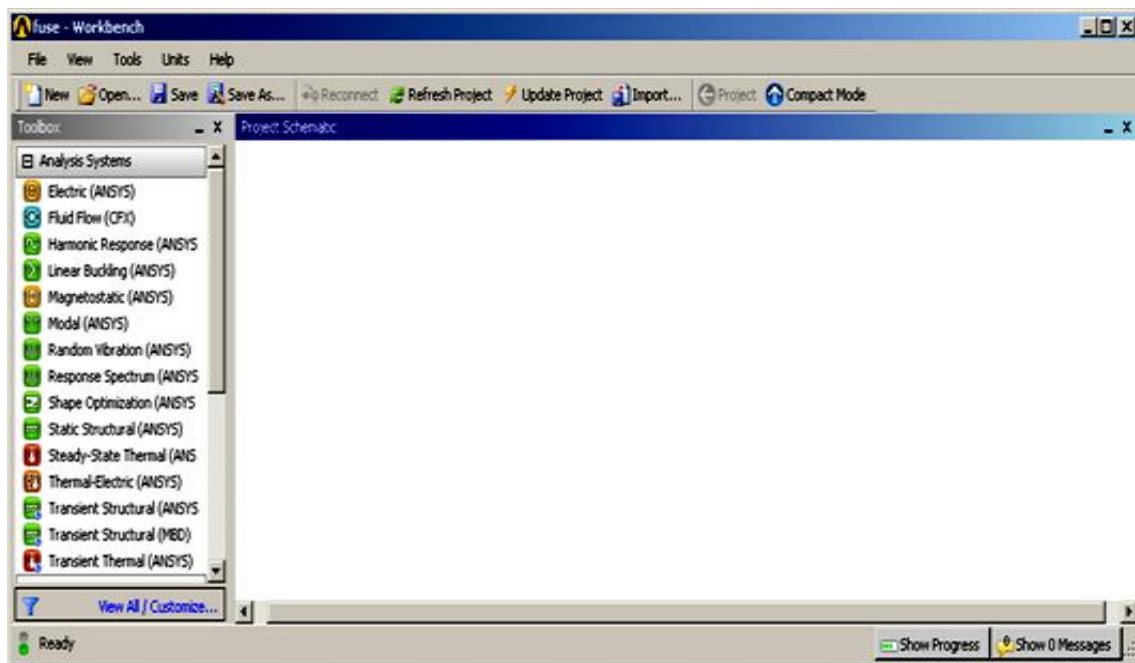


Figura 5.3: Interfaz inicial del programa Ansys Workbench.

5.2.1. Módulos de Ansys Workbench:

El programa Ansys Workbench divide los ensayos en los siguientes módulos (Figura 5.4): Engineering Data, Geometry, Model, Setup, Solution y Results.

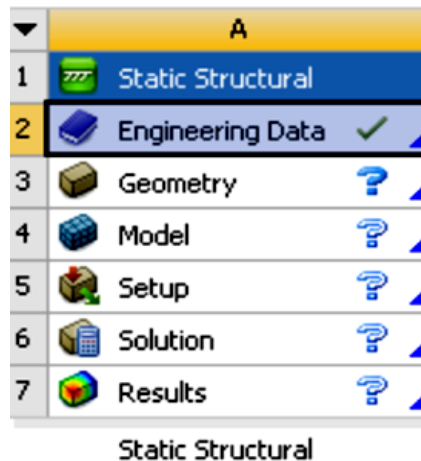


Figura 5.4: Módulos de Ansys Workbench.

Los módulos que se emplean para el proyecto son los siguientes:

- **Engineering Data:** permite definir y asignar el material o los diferentes materiales a los distintos elementos que componen la estructura.
- **Geometry:** posibilita la construcción de la estructura a analizar o su importación si se ha diseñado en otro programa distinto.
- **Model:** permite generar la malla de elementos finitos de la estructura de forma automática o controlando sus parámetros.
- **Setup:** posibilita fijar desplazamientos, tracciones, fuerzas, momentos o rotaciones sobre la estructura.
- **Solution:** permite obtener la solución una vez que ya se conocen todos los valores del problema.
- **Results:** posibilita la visualización de los resultados, viendo los valores máximo y mínimo de lo que se pretenda conocer y sus localizaciones sobre la estructura deformada.

5.3. Introducción a Solid Edge:

Solid Edge es un programa de diseño mecánico que permite la representación de piezas y conjuntos en 3D, así como el modelado en chapa, representación de soldaduras y generación de planos en 2D.



Figura 5.5: Interfaz inicial de Solid Edge.

5.3.1. Entornos de Solid Edge:

Solid Edge permite trabajar sobre los siguientes entornos (*Figura 5.6*): Pieza sólida, Conjunto, Pieza de chapa, Soldadura y Plano. Dependiendo del tipo de trabajo que se quiera realizar, se debe empezar en uno u otro entorno.

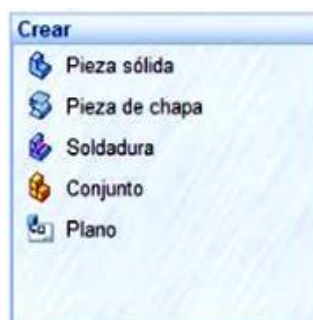


Figura 5.6: Entornos de trabajo de Solid Edge.

Los entornos que se emplean para el proyecto son los siguientes:

- **Pieza sólida:** permite construir modelos sólidos. El proceso de modelado de una pieza comienza con una operación base sobre la que se trabaja con otras operaciones para crear un modelo. Las operaciones de pieza incluyen protrusiones, vaciados, agujeros, refuerzos, redondeos, ángulos de moldeo y

chaflanes. También se pueden construir patrones de operaciones circulares, rectangulares y copias simétricas.

- **Plano:** proporciona un entorno independiente para producir dibujos técnicos directamente a partir de piezas tridimensionales o modelos de conjunto. Los dibujos de Solid Edge están vinculados con el modelo tridimensional, de manera que el dibujo refleja los cambios en el modelo a medida que progresa el diseño. Se pueden crear dibujos que muestren varias vistas, secciones, detalles, cotas, notas y anotaciones. También se pueden añadir marcos de control de operación, marcos de referencia absoluta, símbolos de soldadura y símbolos de acabado superficial a los dibujos.

Cada entorno cuenta con los siguientes menús:

- **Barra de herramientas principal:** es la barra de herramientas que emplea cualquier programa que funcione bajo el sistema operativo Windows. En ella se encuentran las herramientas más comunes, como son: abrir, guardar, copiar, imprimir, hacer o deshacer. Este programa también muestra otras herramientas más específicas que permiten rotar la pieza, mover el campo de visión, hacer zoom y diferentes opciones de representación de las superficies sólidas.
- **Cinta:** es un menú desplegable que coloca al usuario del programa en el plano que va a trabajar. Cuando se ha elegido dicho plano el programa se simplifica a un entorno 2D, en el que se pueden modelar elementos geométricos simples que darán forma a la pieza.
- **Barra de operaciones:** es una barra que muestra todas las operaciones que se pueden realizar sobre una pieza. Algunas de ellas son: boceto, protrusión por proyección o vaciado por evolución.
- **Edge Bar:** es una ventana de ayuda para la gestión de las tareas. Permite esquematizar las operaciones que se llevan a cabo sobre una pieza en orden de ejecución para modificarlas fácilmente si fuese necesario.
- **Planos de referencia (excepto el entorno plano):** son los planos principales que tiene el programa por defecto. A partir de estos planos se pueden generar otros para modelar una pieza.
- **Barra de estado:** también conocida como Smartstep. Se trata de una ayuda en línea. Identifica la herramienta (operación), y ofrece una pequeña ayuda sobre la utilización de la misma cuando se pulsa o se señala con el ratón sobre su icono.

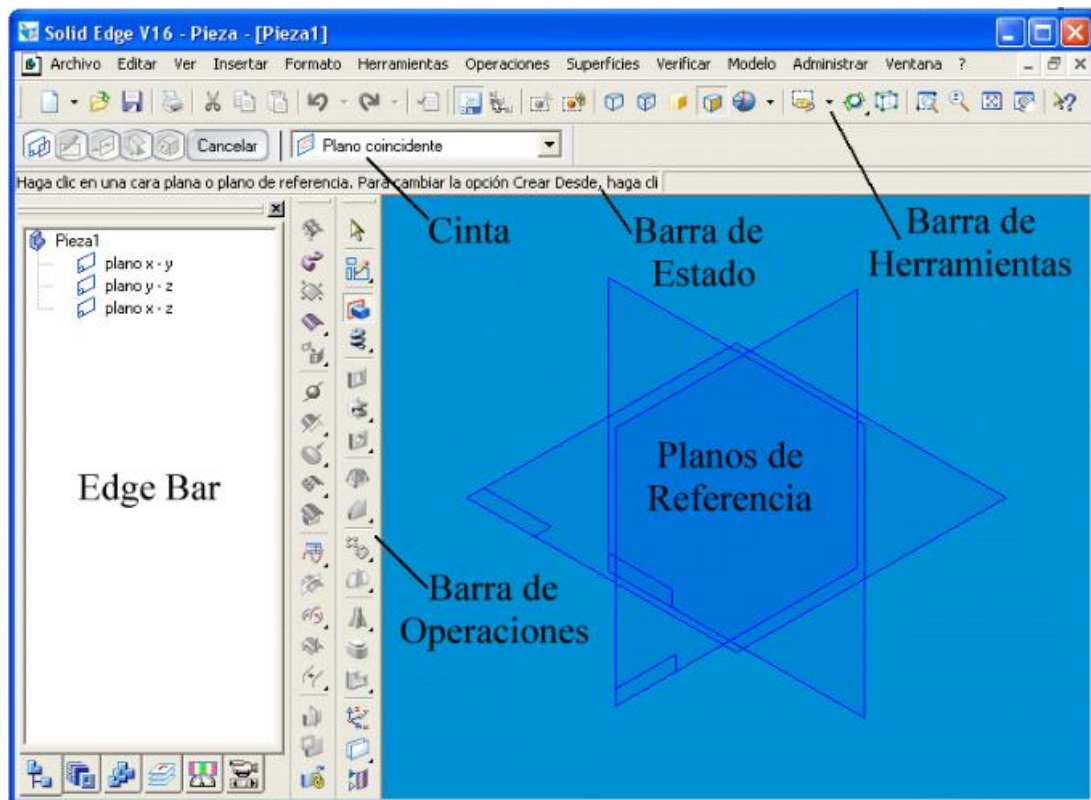


Figura 5.7: Interfaz del entorno pieza sólida de Solid Edge [33].

Capítulo 6

Metodología y planificación

6.1. Metodología:

Se van a detallar los diferentes pasos que se realizarán desde que se empieza a trabajar en el proyecto de diseño de las estructuras-soporte para farolas solares hasta que se concluye con sus respectivas verificaciones. Se distinguirá en cada fase del proyecto entre los trabajos que son llevados a cabo por el cliente y los que son competencia de la persona que realiza el proyecto.

6.1.1. Requerimiento inicial:

Dicha fase comienza con la recepción de la información necesaria de los requisitos que impone el cliente al proyecto y el estudio de la misma.

Para este proyecto se ha solicitado el diseño y el análisis de tres estructuras-soporte para farolas solares de acuerdo a la normativa vigente.

Tras aceptar el pedido del cliente empieza la fase de diseño de los diferentes modelos.

6.1.2. Requisitos del cliente:

Las especificaciones impuestas por el cliente para la realización del proyecto son las siguientes:

- Se han de diseñar tres estructuras-soporte para farolas solares.

- Cada modelo permitirá la instalación de una luminaria de potencia asignada por el cliente (30W, 40W y 70W).
- La tensión en continua de las distintas luminarias es de 12V.
- Se utilizarán una media de 8 horas diarias.
- Deben de tener una autonomía de 3 días.
- Para cada luminaria el cliente establece una altura de montaje:
 - La luminaria de 30W debe de situarse a una altura de 3 metros.
 - La luminaria de 40W debe de situarse a una altura de 6 metros.
 - La luminaria de 70W debe de situarse a una altura de 8 metros.
- Cada modelo tiene que ser acorde a la normativa vigente.
- La orientación de los paneles fotovoltaicos será fija.

6.1.3. Diseño de las estructuras-soporte:

El diseño de las estructuras-soporte se divide en las siguientes fases:

- **Estudio y selección de normativa:** se llevará a cabo una búsqueda minuciosa de la normativa vigente necesaria para la correcta realización del proyecto.
- **Estudio de la región:** se realizará un análisis de las condiciones climáticas de la región donde se pretenden instalar los modelos diseñados.
- **Selección de material:** se elegirá un material para su fabricación que permita validar el cumplimiento por parte de cada modelo de la normativa seleccionada.
- **Fijación de parámetros dimensionales y elementos electrónicos:** teniendo en cuenta la normativa encontrada y las especificaciones del cliente se seleccionarán el resto de los parámetros y elementos que se necesitan para diseñar los modelos.
- **Diseño de los modelos:** se diseñarán las tres estructuras-soporte acorde a los parámetros seleccionados y a las especificaciones del cliente.

6.1.4. Verificación:

Una vez realizado el diseño físico de los modelos de las farolas se comprobará su idoneidad aplicando:

- El cumplimiento de la normativa seleccionada.
- La obtención de un factor de seguridad superior a 1,2.

6.2. Planificación:

La planificación del proyecto comienza con la recepción del pedido del cliente. Este hecho se corresponderá con la fecha de inicio del proyecto.

Se tiene hacia la mitad del proyecto un hito importante denominado PDR (Preliminary Design Review) por parte del cliente. Para cuando tenga lugar este hito, el diseño debe estar lo suficientemente avanzado como para que el cliente lo acepte al cumplir con sus requisitos.

El tiempo que transcurre entre la recepción del pedido y el PDR se debe emplear para las siguientes fases:

- **Estudio y selección de normativa:** para poder dotar de legalidad y validez al proyecto realizado.
- **Estudio de la región:** para recopilar toda la información climatológica de la región de ubicación que pudiera ser útil a lo largo de la realización del proyecto.
- **Selección de material:** para permitir la validación de los modelos una vez ya diseñados mediante simulación de los ensayos.
- **Fijación de parámetros dimensionales y elementos electrónicos:** para tener un punto de partida sobre el que diseñar los diferentes modelos.
- **Diseño de los modelos:** para obtener los planos que permitan su posterior fabricación y verificación.

Tras el acontecimiento del PDR queda realizar la fase de verificación para comprobar que todo lo realizado durante el proyecto se adecua a la normativa empleada.

Tabla 6.1: Cuadro de planificación.

Identificador	Tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesora
1	Pedido	1día	1/2/2015	1/2/2015	
2	Estudio y selección normativa	20días	2/2/2015	21/2/2015	1
3	Estudio de la región	2días	22/2/2015	23/2/2015	2
4	Selección de material	5días	24/2/2015	28/2/2015	3
5	Fijación de parámetros y elementos	20días	1/3/2015	20/3/2015	4
6	Diseño de los modelos	30días	21/3/2015	19/4/2015	5
7	PDR y reingeniería	30días	20/4/2015	19/5/2015	6
8	Verificación	30días	20/5/2015	18/6/2015	7

Capítulo 7

Solución propuesta

7.1. Fijación de los parámetros dimensionales:

Para poder diseñar las tres estructuras-soporte para las farolas solares es necesario comenzar fijando todos los parámetros dimensionales, empleando la normativa vigente al mismo tiempo que se tienen en cuenta todas condiciones impuestas por el cliente a la hora de realizar el pedido (*Tabla 7.1*). La siguiente tabla recoge dichas condiciones de forma esquemática:

Tabla 7.1: Condiciones impuestas por cliente.

Potencia de la luminaria	Altura de la luminaria
30W	3m
40W	6m
70W	8m

Tensión de las luminarias	12V
Uso diario	8h/día
Autonomía	3días
Orientación del panel	fija

7.1.1. Selección del diámetro del conductor que reside en interior del brazo-soporte de la luminaria:

Para fijar el diámetro del conductor (incluyendo el recubrimiento protector del mismo) que reside en el brazo-soporte de las luminarias se toma como punto de partida el esquema eléctrico de la instalación (*Figura 7.1*).

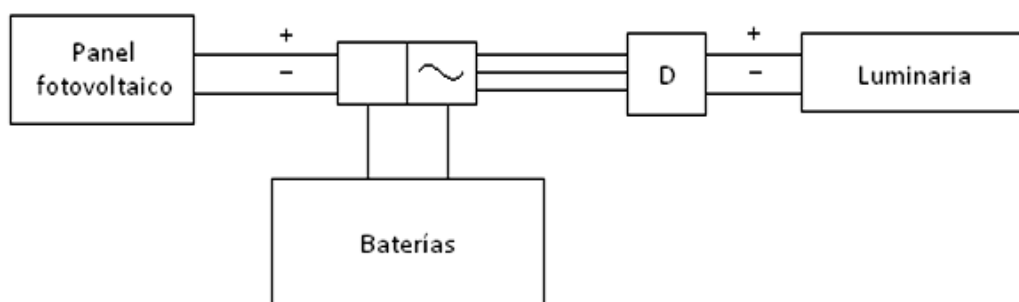


Figura 7.1: Esquema eléctrico de la instalación.

De este esquema eléctrico de la instalación se estudia la parte que reside dentro del brazo-soporte de las luminarias teniendo en cuenta que la tensión que deben soportar en continua las distintas luminarias es de 12V.

Aplicando la fórmula de la potencia eléctrica en continua ($P=V.I$) se obtienen las intensidades eléctricas que deben ser capaces de soportar los cables del interior del brazo-soporte de la luminaria (*Tabla 7.2*) para cada uno de los tres diseños.

Tabla 7.2: Intensidades eléctricas de los cables situados en el interior del brazo-soporte de las luminarias.

Potencia de la luminaria	Intensidad eléctrica
30W	2,5A
40W	3,333A
70W	5,833A

Como los tres modelos de estructura-soporte para farolas solares que se pretenden diseñar están destinados para la ubicación al aire libre se debe aplicar la norma ITC-BT-09, instalaciones de alumbrado exterior, recogida en el Reglamento electrónico para Baja Tensión.



En la norma ITC-BT-09, dentro del apartado 6.2, instalación eléctrica de soportes de luminarias, aparece por escrito que los tipos de cables a utilizar se corresponden con los indicados en los apartados 5.2.1 o 5.2.2 de la misma norma.

El apartado 5.2.1 se corresponde con el de redes subterráneas (*Tabla 7.3*) y el apartado 5.2.2 se corresponde con el de redes aéreas.

Se hace uso de la información contenida en el apartado 5.2.1 por ser la que mejor se adecúa a las condiciones del pedido del cliente.

Tabla 7.3: Sección nominal del conductor de cobre en función de la intensidad máxima eléctrica admisible y del tipo de aislamiento [2].

Tabla A. Intensidad máxima admisible, en amperios para cables con conductores de cobre en instalación enterrada entubada (servicio permanente).

SECCIÓN NOMINAL mm ²	Terna de cables unipolares (1)(2)		1 cable tripolar o tetrapolar (3)	
				
	TIPO DE AISLAMIENTO			
	<i>XLPE</i>	<i>PVC</i>	<i>XLPE</i>	<i>PVC</i>
6	58	50	53	45
10	77	68	70	60
16	100	88	92	78
25	128	112	120	100
35	152	136	144	120

temperatura ambiente del terreno: 25°C

conductividad térmica del terreno: 1K.m/W

un sólo circuito de cables unipolares en contacto, bajo tubo

- (1) incluye el conductor neutro
- (2) para el caso de los cables unipolares, la intensidad máxima admisible será la correspondiente a la columna de la terna de cables unipolares de la misma sección y aislamiento, multiplicada por 1,225
- (3) para el caso de un cable bipolar, la intensidad máxima admisible será la correspondiente a la columna del cable tripolar o tetrapolar de la misma sección y aislamiento, multiplicada por 1,225

Se decide que los cables que se van a emplear son unipolares para reducir el precio final de la puesta en operación de los diseños. Esto conlleva necesariamente tener que cumplir con lo estipulado en la nota 2 de la tabla anterior.

Si se escoge la peor situación posible (5,833A), se aplica la nota 2 y se observa detenidamente la tabla anterior (*Tabla 7.3*), se puede deducir que la sección nominal de los conductores debe de ser de 6mm² para todos los diseños independientemente del tipo de aislamiento que se haya elegido.

La norma ITC-BT-09 también recoge los tipos de tubos protectores (*Tabla 7.4*) que deben emplearse en estas circunstancias.

Tabla 7.4: Tipos de aislamientos [2].

Sistema de canalización (calidad mínima)		Cable	
Tubo	Compresión 450N, Impacto Normal UNE-EN 50086-2-4	W-K	Cable de tensión asignada 0,6/1kV. Con conductor de cobre clase 5 (-K), aislamiento y cubierta de policloruro de vinilo (VV) UNE 21123-1 ¹ .
		RV-K	Cable de tensión asignada 0,6/1kV. Con conductor de cobre clase 5 (-K), aislamiento de polietileno reticulado (R) y cubierta policloruro de vinilo (V) UNE 21123-2 ¹ .
Nota 1: Las normas de la serie UNE 21123 también incluyen las variantes de cables armados y apantallados que pueden ser conveniente utilizar en instalaciones particulares.			

Se opta por hacer uso de la norma UNE-EN 21123-2 que propone para el aislamiento el empleo de polietileno reticulado y la utilización de cubiertas de policloruro de vinilo. Gracias a dicha norma se pueden conseguir los espesores de aislamiento que deben usarse y averiguar el diámetro exterior total que debe tener el tubo protector.

Al elegir en la norma anterior citada la tabla para cables unipolares de un sólo conductor se obtiene el valor del espesor del tubo de aislamiento (Tabla 7.5).

Tabla 7.5: Espesores de los tubos de aislamientos [3].

Sección nominal del conductor	Espesor del aislamiento (valor especificado)
mm ²	(mm)
1,5 y 2,5	0,7
4 y 6	0,7
10 y 16	0,7
25 y 35	0,9
50	1,0
70	1,1
95	1,1
120	1,2
150	1,4
185	1,6
240	1,7
300	1,8
400	2,0

La sección nominal de conductor es de 6mm² por lo que se tiene que utilizar un tubo de 0,7mm de espesor.

A continuación se calcula el espesor de revestimiento interno extruido (*Tabla 7.6*) aplicando la norma UNE-EN 21123-2.

Tabla 7.6: *Espesores de revestimiento interno [3].*

Diámetro ficticio sobre conductores aislados cableados (*)		Espesor de revestimiento interno (valores aproximados)	
Más de	Hasta e incluyendo	Extruidos	Encintados
mm	mm	mm	0,4 mm para diámetros ficticios sobre conductores aislados cableados, inferiores o iguales a 40 mm
-	25	1,0	0,6 mm para diámetros mayores
25	35	1,2	
35	45	1,4	
45	60	1,6	
60	80	1,8	
80	-	2,0	

(*) El diámetro ficticio se calcula según la Norma IEC 60502-1, anexo A.

Como paso previo se necesita determinar el diámetro ficticio (*Tabla 7.7*) a partir del anexo A de la norma IEC 60502-1.

Tabla 7.7: *Diámetros ficticios [4].*

Sección nominal del conductor mm ²	dL mm	Sección nominal del conductor mm ²	dL mm
1,5	1,4	95	11,0
2,5	1,8	120	12,4
4	2,3	150	13,8
6	2,8	185	15,3
10	3,6	240	17,5
16	4,5	300	19,5
25	5,6	400	22,6
35	6,7	500	25,2
50	8,0	630	28,3
70	9,4	800	31,9
		1000	35,7

Para una sección de 6mm² el diámetro ficticio toma el valor de 2,8mm por lo que el espesor de revestimiento interno es de 1mm.

El espesor de la cubierta exterior (*Tabla 7.8*) se calcula mediante la utilización de la norma UNE-EN 21123-2.

Tabla 7.8: Espesores de cubierta externa [3].

Sección nominal del conductor	Espesor de cubierta (valor especificado, mm)				
Cu	Según nº de conductores:				
mm ²	1	2	3	4	5
1,5	1,4	1,8	1,8	1,8	1,8
2,5	1,4	1,8	1,8	1,8	1,8
4	1,4	1,8	1,8	1,8	1,8
6	1,4	1,8	1,8	1,8	1,8
10	1,4	1,8	1,8	1,8	1,8
16	1,4	1,8	1,8	1,8	1,8
25	1,4	1,8	1,8	1,8	1,8
35	1,4	1,8	1,8	1,8	1,8
50	1,4	1,8	1,8	1,9	2,0
70	1,4	1,8	1,9	2,0	2,1
95	1,5	2,0	2,0	2,1	2,3
120	1,5	2,1	2,1	2,3	2,4
150	1,6	2,2	2,3	2,4	2,6
185	1,6	2,3	2,4	2,6	2,8
240	1,7	2,5	2,6	2,8	3,0
300	1,8	-	2,8	3,0	3,2
400	1,9	-	3,1	3,3	3,5

Para una sección de 6mm² el espesor de la cubierta exterior toma el valor de 1,4mm.

Finalmente se procede a calcular el diámetro exterior que debe tener el tubo protector total mediante la siguiente fórmula:

$$D_{\text{exteriorprotector}} = 2 \cdot R_{\text{conductor}} + 2 \cdot e_{\text{aislamiento}} + 2 \cdot e_{\text{revestimiento interno}} + 2 \cdot e_{\text{cubierta externa}}$$

Previamente se calcula el radio del conductor de cobre:

$$A_{\text{conductor}} = \pi \cdot R_{\text{conductor}}^2 \rightarrow 6\text{mm}^2 = \pi \cdot R_{\text{conductor}}^2 \rightarrow R_{\text{conductor}} = 1,382\text{mm}$$

Sustituyendo en la ecuación del diámetro exterior protector se obtiene el diámetro del conductor (incluyendo el recubrimiento protector del mismo) que reside en el brazo-soporte de las luminarias:

$$D_{\text{exteriorprotector}} = 2 \cdot 1,382\text{mm} + 2 \cdot 0,7\text{mm} + 2 \cdot 1\text{mm} + 2 \cdot 1,4\text{mm} = 8,964\text{mm}$$

7.1.2. Selección de las dimensiones de fijación de la luminaria con entrada lateral:

Se ha decidido que la fijación de la luminaria a la estructura-soporte de la farola solar para cada uno de los tres modelos se va a llevar a cabo mediante entrada lateral.

Para determinar dichas dimensiones se utiliza la norma UNE-EN 40-2, columnas y báculos de alumbrado (parte 2: requisitos generales y dimensiones). Dentro de dicha norma el apartado 4.7.3 es el que hace referencia a la configuración seleccionada.

Como paso previo es necesario calcular el diámetro interno mínimo (*Figura 7.2*) que deben de tener los brazos-soporte de las tres luminarias. Como el diámetro del conductor con su respectivo recubrimiento protector es coincidente para los tres diseños, las dimensiones de fijación de la luminaria (*Tabla 7.9*) también coinciden para los tres modelos.

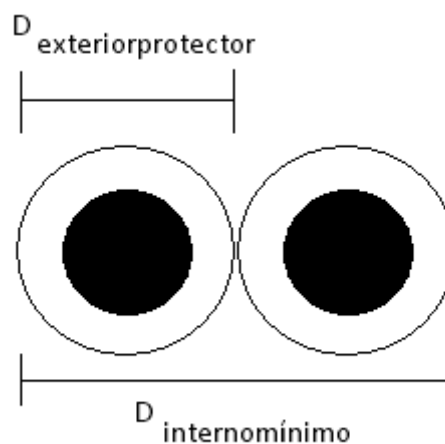


Figura 7.2: Disposición de los conductores de cobre con sus recubrimientos dentro del brazo-soporte de la luminaria.

Se debe cumplir que:

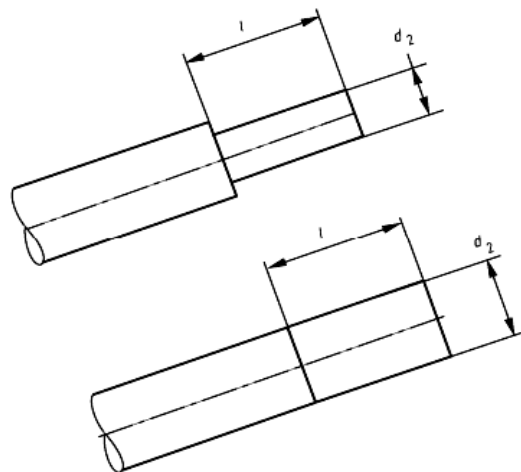
$$D_{\text{internomínimo}} \geq 2 \cdot D_{\text{exteriorprotector}} = 2 \cdot 8,964\text{mm} = 17,928\text{mm}$$

El diámetro interno mínimo del brazo-soporte de la luminaria tiene que ser superior o igual a 17,928mm.

Se procede a hacer uso de la normativa anteriormente citada para fijar las dimensiones de la luminaria con entrada lateral:

Tabla 7.9: Fijaciones de la luminaria con entrada lateral [5].

d_2 nom mm	l mm
42	100
42	250
42	400
60	100
60	250
60	400
62	100
62	250
62	400



Se seleccionan los siguientes parámetros dimensionales (Tabla 7.10) en este apartado:

Tabla 7.10: Diámetro exterior e interior y longitud de la fijación del brazo-soporte.

Diámetro exterior del brazo-soporte	62mm
Diámetro interior del brazo-soporte	42mm
Longitud de la fijación (l)	100mm

- **NOTA:** se ha optado por realizar un escalón de 52mm de diámetro de forma que el acoplamiento entre la luminaria y el brazo-soporte de lugar a una superficie completamente lisa y sin desnivel (Figura 7.3).

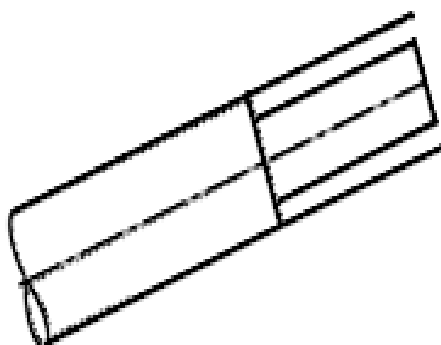


Figura 7.3: Modo de fijación de la luminaria con entrada lateral [5].

7.1.3. Selección de los paneles fotovoltaicos y de las baterías:

Para resolver esta apartado se hace uso del programa PVsyst. Este programa permite la obtención de un informe que revela si el panel fotovoltaico y la batería seleccionados cumplen con los requisitos de generación y consumo o necesitan de elementos auxiliares para satisfacerlos.

Los requisitos para su selección (*Tabla 7.11*) son los indicados a continuación:

Tabla 7.11: Requisitos para la selección.

Uso diario	8h/día
Autonomía	3días
Orientación del panel	fija

- **NOTA:** como puede observarse en el capítulo de condiciones climáticas, en el apartado de condiciones de cielo, el cielo va a estar en la mayoría de los días despejado o parcialmente despejado lo que ayudará a garantizar una recarga adecuada de las baterías. La autonomía de 3 días impuesta por el cliente permite garantizar un cierto margen de seguridad para un funcionamiento autónomo, sin la existencia de la posibilidad de recargar durante ese plazo de tiempo.

Con este programa informático y con los requisitos se proceden a la elaboración de informes buscando lo siguiente:

- Utilización de un único panel fotovoltaico y de una única batería.
- Minimización de la superficie del panel fotovoltaico.
- Garantizar que no se requieren elementos auxiliares de generación y almacenamiento.

Se realiza una serie de estudios aislados con dicho software al tratarse de farolas solares cuyo funcionamiento no está ligado a una red eléctrica.

Como el programa no dispone de los datos climatológicos de la región donde se van a ubicar las estructuras-soporte se tiene que crear manualmente un archivo que contenga dicha información para que la utilice dicho programa informático (*Figura 7.4 y Figura 7.5*):

Ubicación

Nombre del lug Merzouga

País Morocco Región África

Decimal Deg. min.

Latitud 31.32 * 31 19 (+ = Norte, - = Hemisferio Sur)

Longitud 4.27 * 4 16 (+ = Este, - = Oeste Greenwich)

Altitud 696 Metros sobre el nivel del mar

Huso horario 1 Corresponde a una diferencia media

Hora Legal - Hora Solar = 0h 43m

Figura 7.4: Localización de la región de ubicación.

	Global [kWh/m ² .día]	Difuso [kWh/m ² .día]	Temp. [°C]
Enero	3.82		9.5
Febrero	4.73		8.0
Marzo	6.29		15.0
Abril	7.02		18.0
Mayo	7.62		24.5
Junio	7.92		31.0
Julio	7.47		33.0
Agosto	6.94		32.5
Septiembre	5.94		22.5
Octubre	5.03		22.0
Noviembre	3.98		16.0
Diciembre	3.40		10.0
Año	5.85		20.2

Figura 7.5: Irradiación y temperatura media de la región de ubicación.

- **NOTA:** los datos de la ubicación y de la irradiación se han obtenido de la base de PVgis.

Como el cliente impone una orientación fija del panel fotovoltaico se puede aplicar un método sencillo y correcto que consiste en inclinar el panel el mismo número de grados de la latitud más cinco mirando hacia el ecuador terrestre. Teniendo en cuenta lo anteriormente citado la inclinación elegida para el panel es de 36° (Figura 7.6). Esta inclinación dificulta el asentamiento de la arena sobre el panel fotovoltaico.

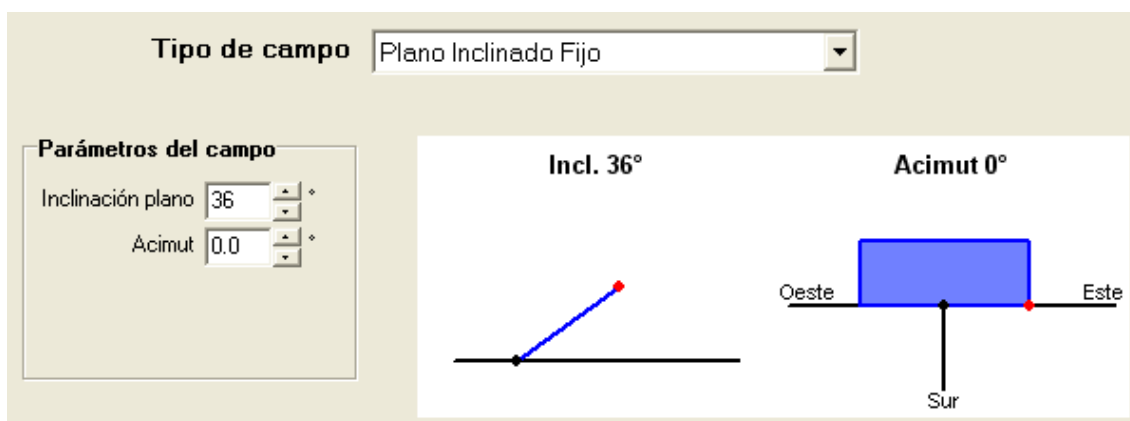


Figura 7.6: Inclinación del panel fotovoltaico.

La autonomía y el uso diario (Figura 7.7) también tienen que ser introducidos de manera manual:

Number		Power		Mean Daily use	
1	Fluorescent lamps		W/lamp	8.0	h/day

Enter requested autonomy 3.0 day(s)

Figura 7.7: Autonomía y uso diario de la instalación.

El método para llevar a cabo la selección del panel fotovoltaico y de la batería para cada uno de los tres casos consiste en iterar, es decir, se obtiene un informe y se verifican los tres requisitos mencionados anteriormente. El punto 1 tiene como finalidad reducir el precio de la puesta en operación de los modelos. Con el punto 2 se pretende encontrar el panel fotovoltaico más pequeño posible para disminuir la resistencia que ofrece la estructura frente al viento. Si no se cumple el punto 3 se selecciona un nuevo panel o una nueva batería y se regenera el informe hasta su validación.

Tras la elaboración de múltiples informes y sus posteriores comprobaciones los resultados que se obtienen (Tabla 7.12) son los siguientes:

Tabla 7.12: Paneles fotovoltaicos y baterías seleccionados para los modelos [25-28].

Luminaria		30W		
Panel fotovoltaico	GES6-P70 GESOLAR	Dimensión	771x665x35mm	
		Masa	6,3kg	
		Tensión	16V	
Batería	OPz Solar 70 Exide Classic	Dimensión	Ancho	208mm
			Largo	275mm
			Alto	385mm
		Masa	35kg	
		Tensión	12V	

Luminaria		40W		
Panel fotovoltaico	GES-M75 GESOLAR	Dimensión	1196x541x30mm	
		Masa	8kg	
		Tensión	15V	
Batería	OPz Solar 140 Exide Classic	Dimensión	Ancho	208mm
			Largo	275mm
			Alto	385mm
		Masa	45kg	
		Tensión	12V	

Luminaria		70W		
Panel fotovoltaico	PL 800 D EUROSOLARE	Dimensión	1215x1108x57mm	
		Masa	18kg	
		Tensión	15V	
Batería	OPz Solar 210 Exide Classic	Dimensión	Ancho	208mm
			Largo	383mm
			Alto	385mm
		Masa	64kg	
		Tensión	12V	

7.1.4. Fijación del tamaño del habitáculo de las baterías:

Se decide que los habitáculos de las baterías gocen de forma cilíndrica para disminuir la resistencia que ofrecen al viento. Como punto de partida para sus diseños se han tomado las dimensiones geométricas de las distintas baterías elegidas en el apartado anterior.

El radio mínimo necesario de la base es el siguiente:

$$\text{Radio}_{\text{mínimo}} = \frac{\sqrt{\text{Ancho}^2 + \text{Largo}^2}}{2}$$

Calculando se obtienen los siguientes resultados (*Tabla 7.13*):

Tabla 7.13: Radio mínimo del habitáculo de las baterías.

Luminaria	Radio _{mínimo}
30W	172,401mm
40W	172,401mm
70W	217,918mm

Sin embargo, calcular así el radio de las bases imposibilita al operario disponer de cierto espacio para maniobrar durante la instalación y también dificulta la introducción del resto de elementos electrónicos de la instalación.

Para proporcionar cierto juego en los habitáculos de las baterías se decide que una manera más adecuada para calcular los radios de las bases es la siguiente:

$$\text{Radio}_{\text{base}} = \frac{\sqrt{2 \cdot \text{Largo}^2}}{2}$$

- **NOTA:** se elige el valor del largo porque en los tres casos este valor es superior al ancho y así se consiguen radios de las bases superiores a los que se obtienen empleando el ancho.

Aplicando la fórmula anterior a las tres baterías seleccionadas se obtienen los siguientes nuevos radios de las bases (*Tabla 7.14*):

Tabla 7.14: Selección de un nuevo radio.

Luminaria	Radio _{base}
30W	194,454mm
40W	194,454mm
70W	270,822mm

Aproximando estos valores a las centenas obtenemos un espacio disponible mayor para maniobrar (*Tabla 7.15*):

Tabla 7.15: Aproximación del nuevo radio a las centenas.

Luminaria	Radio _{base}
30W	200mm
40W	200mm
70W	300mm

Se calculan las holguras existentes entre las baterías situadas en el centro de la base y la pared lateral interna de los habitáculos (*Tabla 7.16*), que se obtienen con estos últimos radios de las bases calculados, para comprobar que no se obtiene un hueco excesivo para maniobrar aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Holgura} = \text{Radio}_{\text{base}} - \text{Radio}_{\text{mínimo}}$$

Tabla 7.16: *Holgura para cada uno de los habitáculos.*

Luminaria	Holgura
30W	27,599mm
40W	27,599mm
70W	82,082mm

Observando los resultados se deduce que para el caso de la luminaria de 70W el radio que se ha seleccionado para el habitáculo de la batería es excesivo.

Se propone tomar como radio para este caso el valor de 250mm y se realiza una nueva comprobación (*Tabla 7.17*):

Tabla 7.17: *Holgura nueva para la luminaria de 70W.*

Luminaria	Holgura
70W	32,082mm

Como se puede observar con este cambio que se ha realizado las holguras que se obtienen son parecidas.

A continuación se procede a seleccionar la altura de los habitáculos tomando como punto de partida el alto de las baterías, que en esta ocasión es coincidente para las tres baterías.

Es evidente que la altura mínima necesaria se corresponde con el alto de las baterías:

$$\text{Altura}_{\text{habitáculo}} \geq \text{Alto}_{\text{batería}} = 385\text{mm}$$

Se decide que para proporcionar un espacio adecuado para que el operario pueda maniobrar la altura de cada habitáculo debe de ser de 550mm.

Los parámetros geométricos dimensionales que se han seleccionado en este apartado (*Tabla 7.18*) son los siguientes:

Tabla 7.18: Radio de la base y altura seleccionados para cada habitáculo.

Luminaria	Radio _{base}	Altura
30W	200mm	550mm
40W	200mm	550mm
70W	250mm	550mm

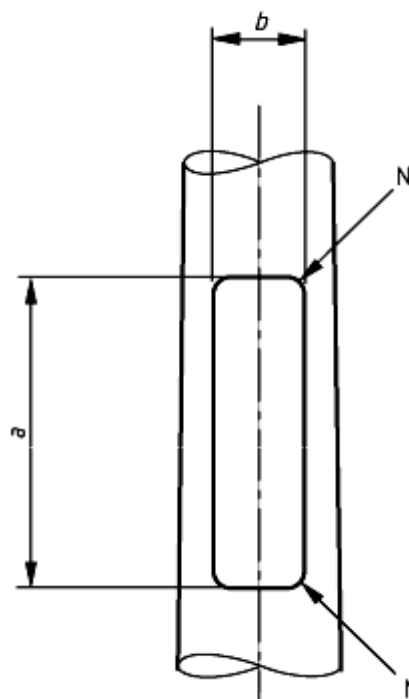
7.1.5. Dimensiones de la puerta de acceso al habitáculo de las baterías:

Se debe aplicar la norma UNE-EN 40-2:2006. El apartado específico de esta norma a emplear es el 4.3.1, aberturas de puertas, puesto que los cables son introducidos por la misma puerta que se utiliza para la introducción de las baterías.

Se toma como punto de partida para dar una solución el alto y el ancho de las baterías, este último se toma por tener un valor inferior al largo permitiendo la utilización de una abertura de puerta de menores dimensiones (*Tabla 7.19*).

Tabla 7.19: Dimensiones de aberturas de puertas [5].

<i>a</i> en mm	<i>b</i> en mm
132	38
186	45
200	75
300	85
400	60
400	85
400	90
400	100
500	100
500	120
600	115
600	130
680 ^a	95 ^a
680 ^a	130 ^a
900 ^a	130 ^a
^a Para hormigón únicamente.	



El ancho y el alto de las baterías es el mismo para las tres situaciones. Esto implica que en los tres casos se puede utilizar la misma puerta de acceso al habitáculo de las baterías.

Este apartado de la normativa recoge que para el caso de columnas metálicas, el radio N de las esquinas de la abertura de puertas (*Tabla 7.19*) debe ser como mínimo de 20mm o de la mitad de la anchura de b . En estos casos b no puede estar normalizado y, por esto, para el radio de las esquinas de abertura de puertas se tomará el mínimo valor indicado por dicha norma (20mm).

El parámetro a (*Tabla 7.19*) sí que se puede adecuar a la normativa vigente. Al ser el alto de las baterías de 385mm el parámetro a elegido tiene que ser mayor. Para proporcionar espacio adicional para maniobrar y para el resto de componentes se le otorga el valor de 500mm.

En el caso del parámetro b (*Tabla 7.19*), al tener que ser este igual o superior al ancho de las baterías (208mm), no puede cumplir la normativa. En esta situación se elige como valor 225mm para el parámetro b proporcionando así también un espacio extra.

El resumen de los parámetros que se han elegido en este apartado (*Tabla 7.20*) es el siguiente:

Tabla 7.20: Dimensiones seleccionadas de la puerta de acceso al habitáculo de baterías.

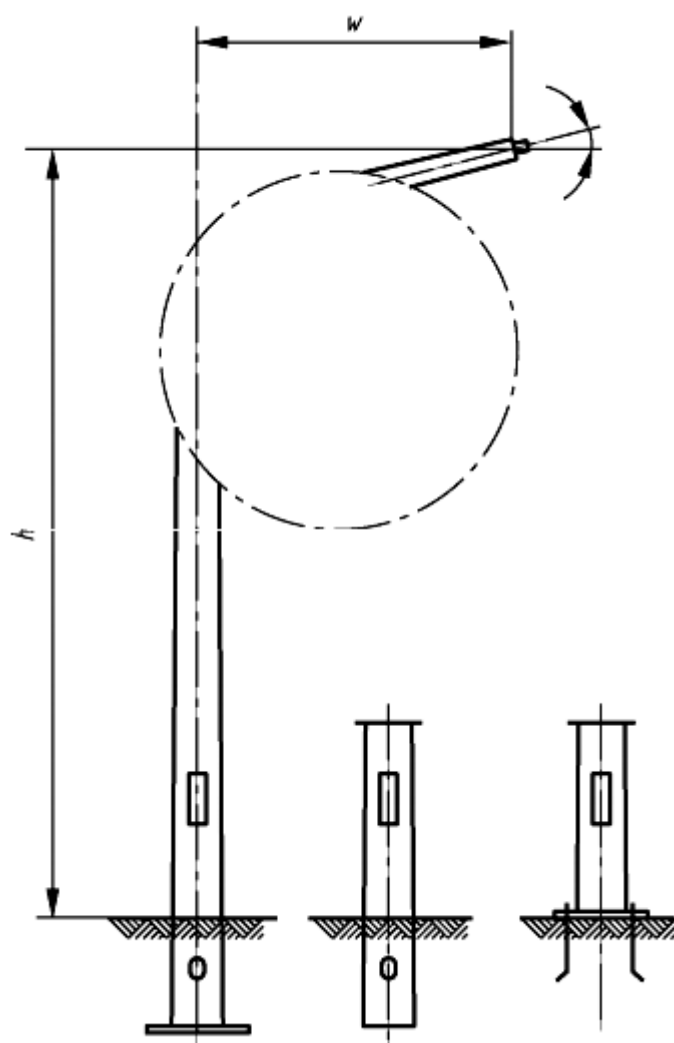
a	500mm
b	225mm
N	20mm

7.1.6. Selección de la altura nominal para báculos o columnas con brazo, del saliente o vuelo y del ángulo de fijación de la luminaria:

La documentación utilizada en este apartado queda recogida en la norma UNE-EN 40-2:2006 dentro de los apartados 4.2.1, 4.2.2 y 4.2.3.

Si se observa la primera de las siguientes tablas (*Tabla 7.21*) se comprueba que las alturas de las luminarias, que nos impone el cliente para los casos en los que se requiere una altura de montaje de 6 metros y de 8 metros, coinciden con las alturas nominales de dicha normativa. El caso restante debe de ser tratado como una excepción.

Tabla 7.21: Altura nominal, saliente o vuelo y ángulo de fijación de la luminaria [5].



Ángulo de fijación de la luminaria
α en grados
3
5
10
15

Altura nominal para báculos o columnas con brazo
h en m
5
6
7
8
9
10
11
12
14
15
16
18

Saliente o vuelo del brazo
w en m
0,3
0,5
0,75
1,0
1,25
1,5
2,0
2,25
2,5
3,0
3,5
4,5

En el apartado 4.2.2 se recomienda que w sea igual o menor que $h/4$.

Se decide coger un vuelo del brazo w (Tabla 7.21) que garantice que los habitáculos de las baterías no interfieren en la emisión de la luminaria. Para los modelos de las luminarias de 30W y 40W se opta por un saliente de 0,75m y para el diseño de la luminaria de 70W se elige un saliente de 1m.

Se escoge un ángulo de fijación de la luminaria (*Tabla 7.21*) idéntico para los tres modelos. El ángulo de fijación de la luminaria seleccionado es de 3° para dificultar el asentamiento de arena sobre el brazo-soporte de la luminaria y sobre la luminaria.

Los parámetros seleccionados en este apartado (*Tabla 7.22*) se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 7.22: Valores seleccionados para el saliente o vuelo del brazo y el ángulo de fijación de la luminaria.

Luminaria	Saliente o vuelo del brazo	Ángulo de fijación de la luminaria
30W	0,75m	3°
40W	0,75m	3°
70W	1m	3°

7.1.7. Selección de la profundidad de empotramiento de la columna o del báculo y placa base:

Se emplean los apartados 4.5.1 y 4.5.2 de la normativa UNE-EN 40-2:2006.

El apartado 4.5.1 recoge que para columnas o báculos empotrados en una cimentación estructural la profundidad del empotramiento (*Tabla 7.23*) puede ser inferior a la indicada en la siguiente tabla:

Tabla 7.23: Profundidad de empotramiento mínima [5].

Altura nominal	Profundidad del empotramiento mínima		
h en mm	e en mm		
≤ 5	600	800	1000
6	800	1000	1200
7 y 8	1000	1200	1500
9 y 10	1200	1500	1700
12	1500	1700	2000
14	1500	2000	2500
15	1500	2000	2500
16	1500	2000	2500
18	1500	2000	2500
20	1500	2000	2500

Aunque las columnas van a tener una cimentación estructural, se toma la decisión de no utilizar valores inferiores a los indicados en la tabla anterior.

El apartado 4.5.2 recoge que en caso de que sea necesaria la placa base (*Figura 7.8*), ésta debe ser de 300mmx300mm o de 400mmx400mm con un espesor mínimo de 4mm como indican las siguientes figuras:

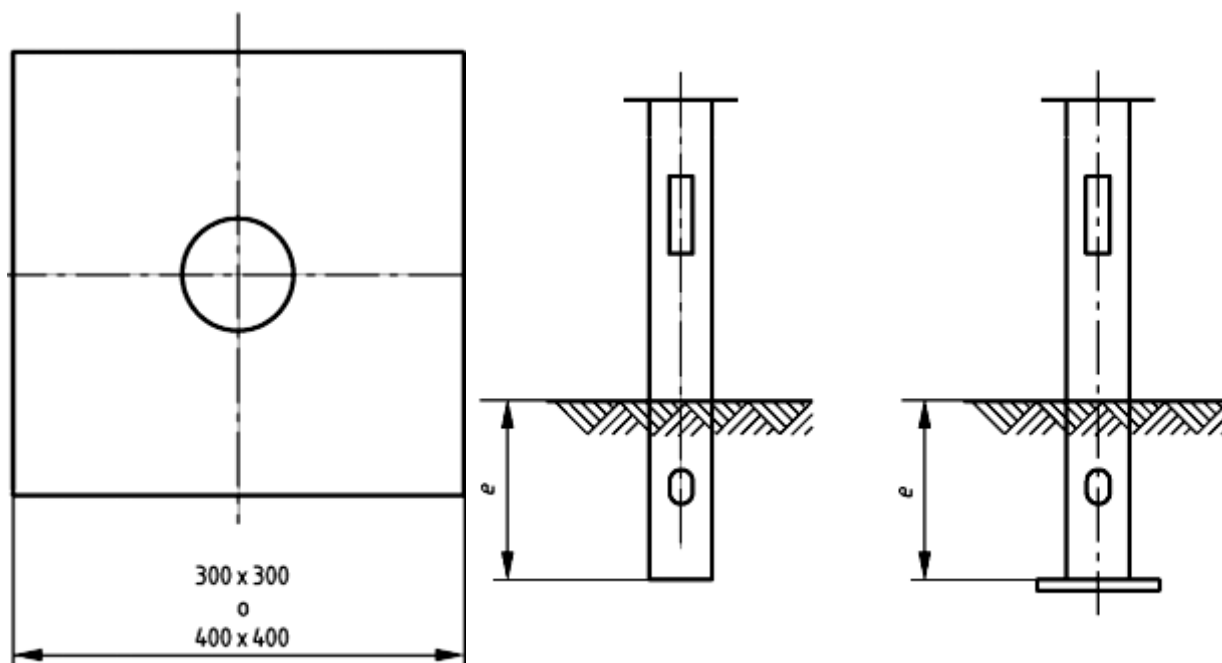


Figura 7.8: Profundidad de empotramiento y placa base [5].

Para mejorar la distribución de las reacciones sobre la cimentación y aumentar con ello la seguridad de la instalación se decide incorporar la utilización de placas base en los diseños.

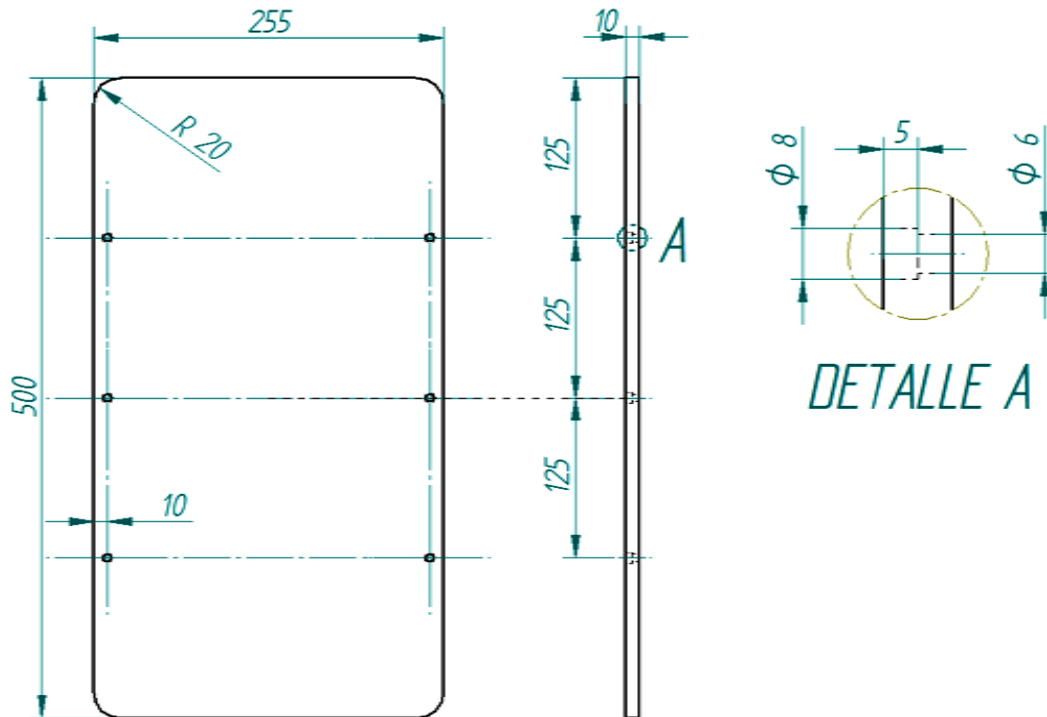
Los parámetros elegidos (*Tabla 7.24*) se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 7.24: Valores seleccionados para la profundidad de empotramiento y la placa.

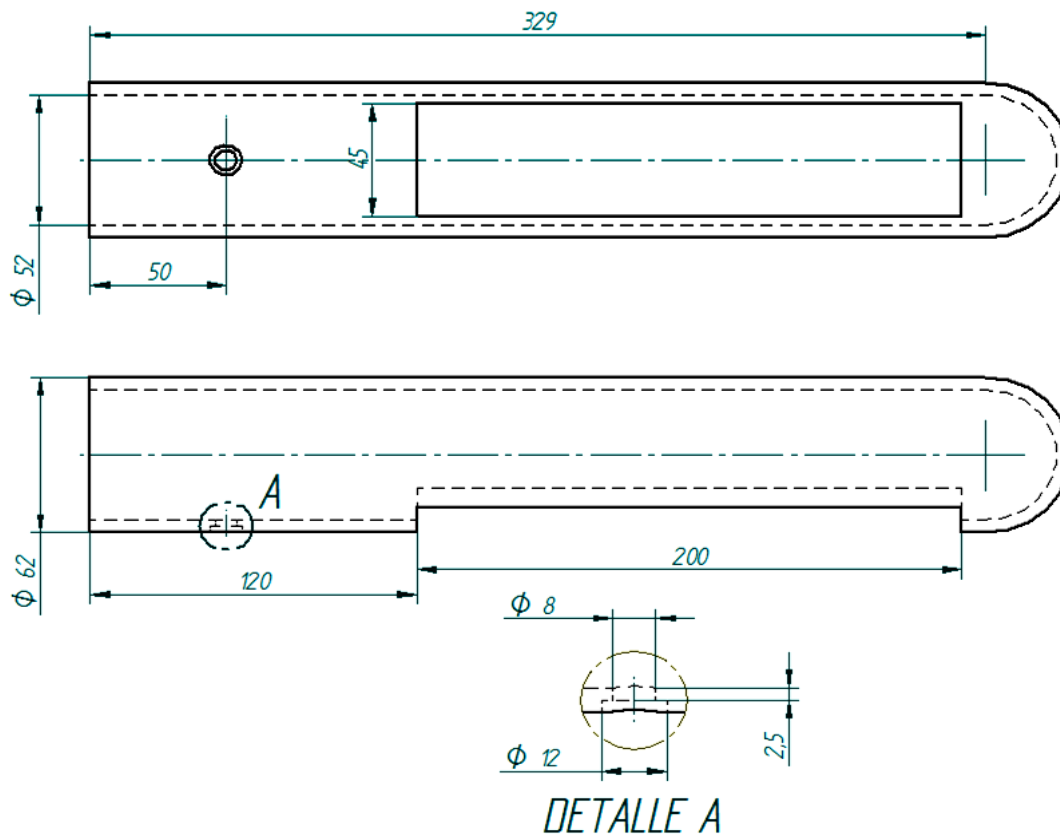
Luminaria	Profundidad del empotramiento	Placa base
30W	600mm	300x300x4mm
40W	800mm	300x300x4mm
70W	1000mm	400x400x4mm

7.2. Planos:

7.2.1. Plano de la puerta de acceso al habitáculo de la batería:

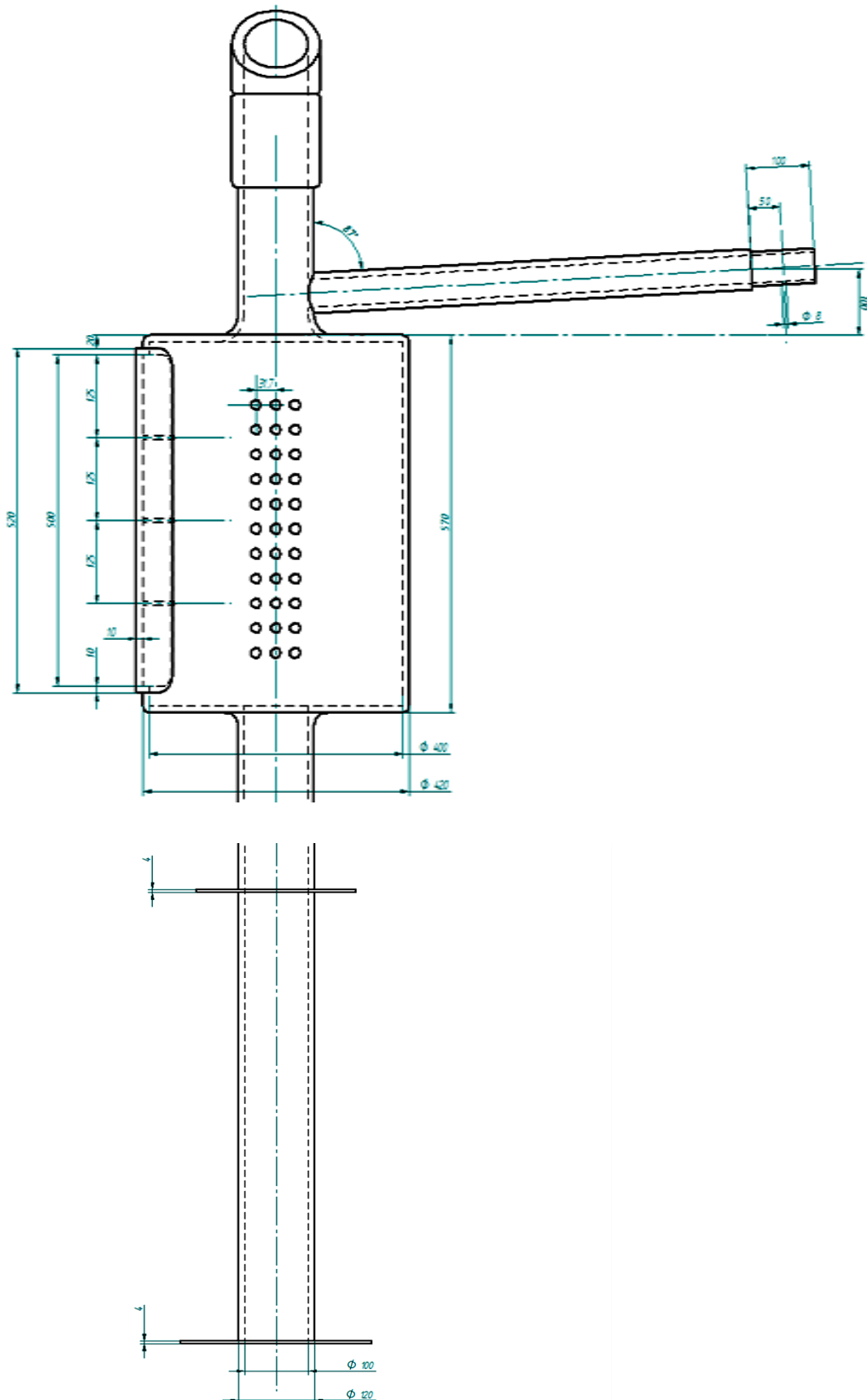


7.2.2. Plano de la luminaria:

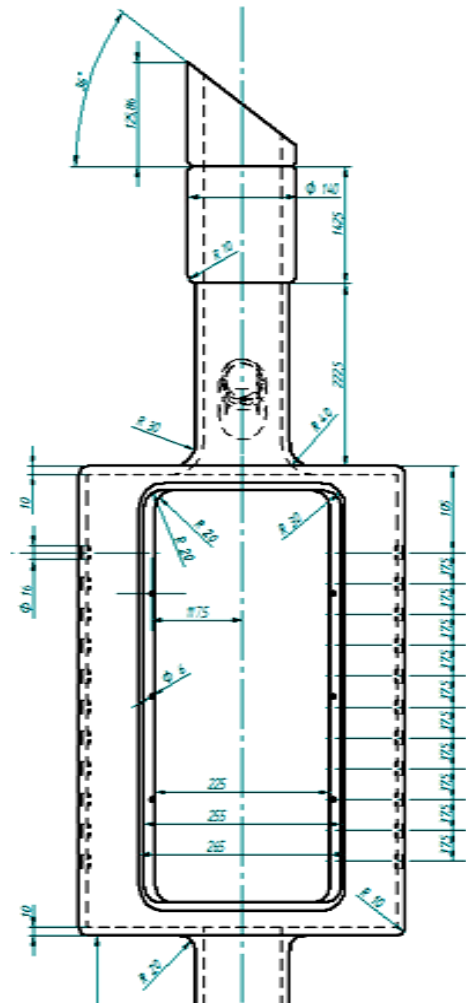


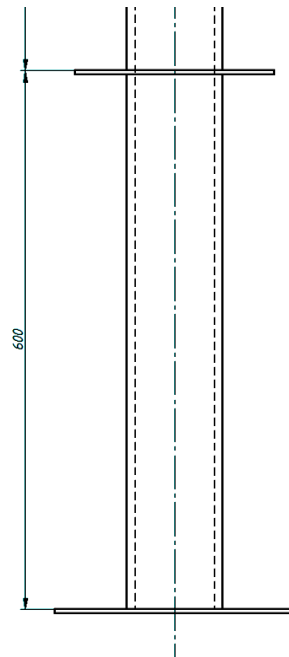
7.2.3. Planos de la estructura-soporte de la luminaria de 30W:

7.2.3.1. Alzado:

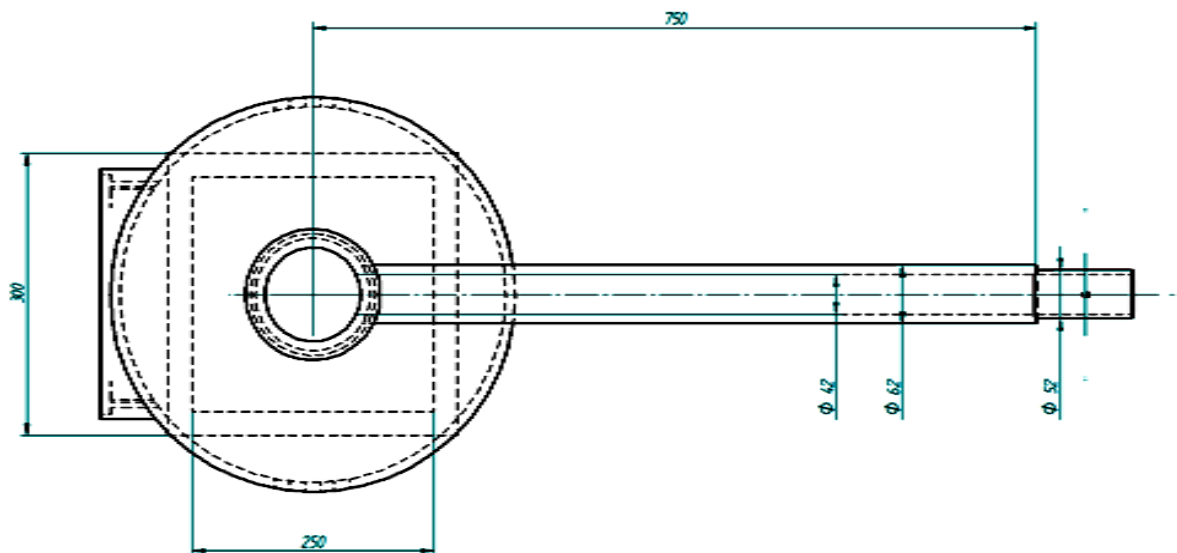


7.2.3.2. Perfil:



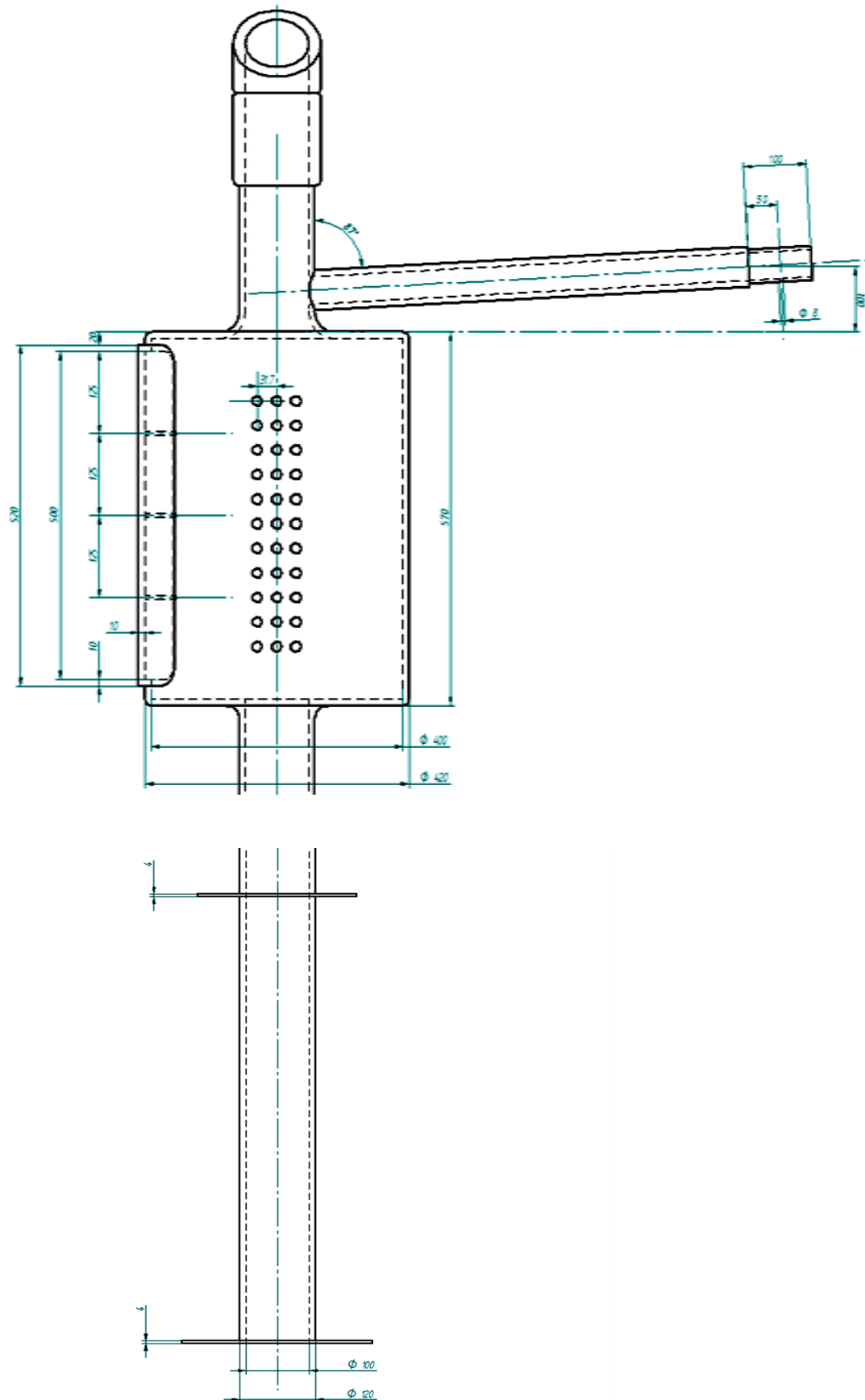


7.2.3.3. Planta:

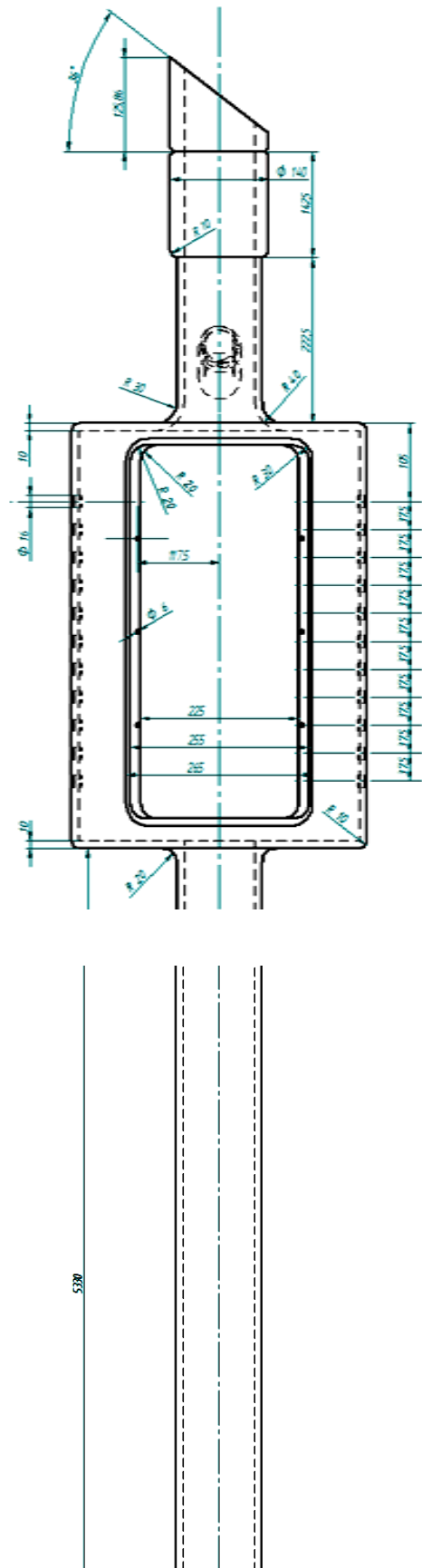


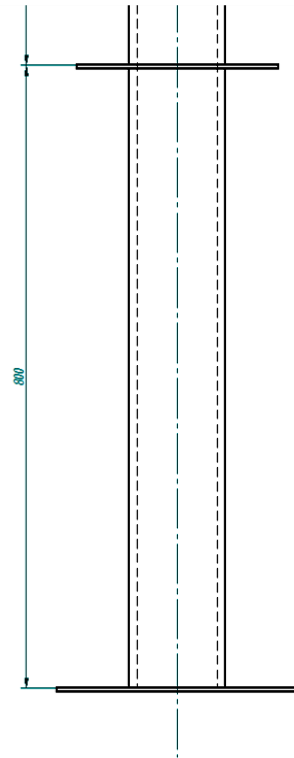
7.2.4. Planos de la estructura-soporte de la luminaria de 40W:

7.2.4.1. Alzado:

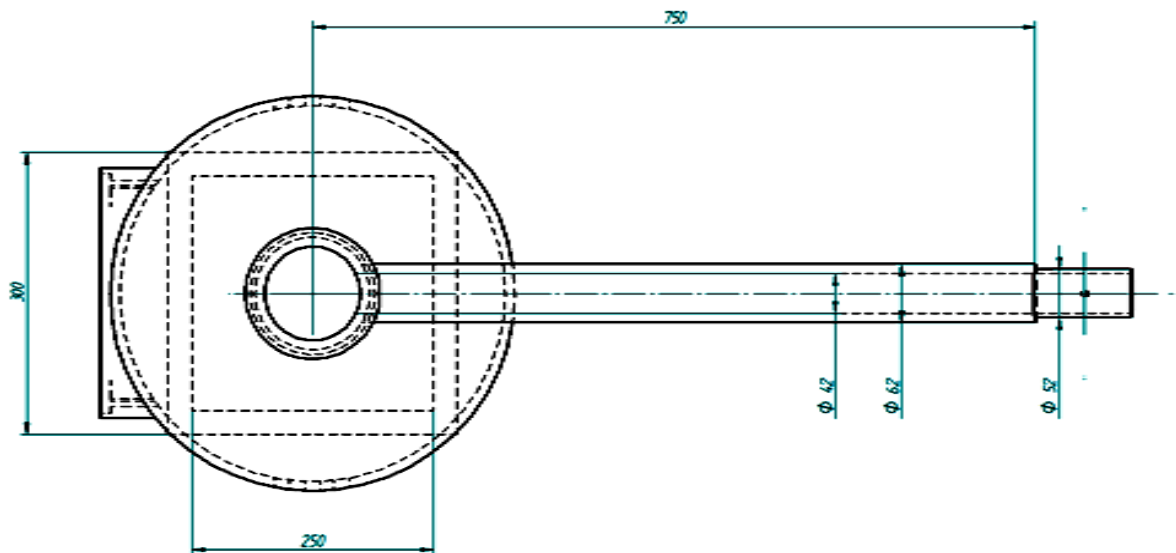


7.2.4.2. Perfil:



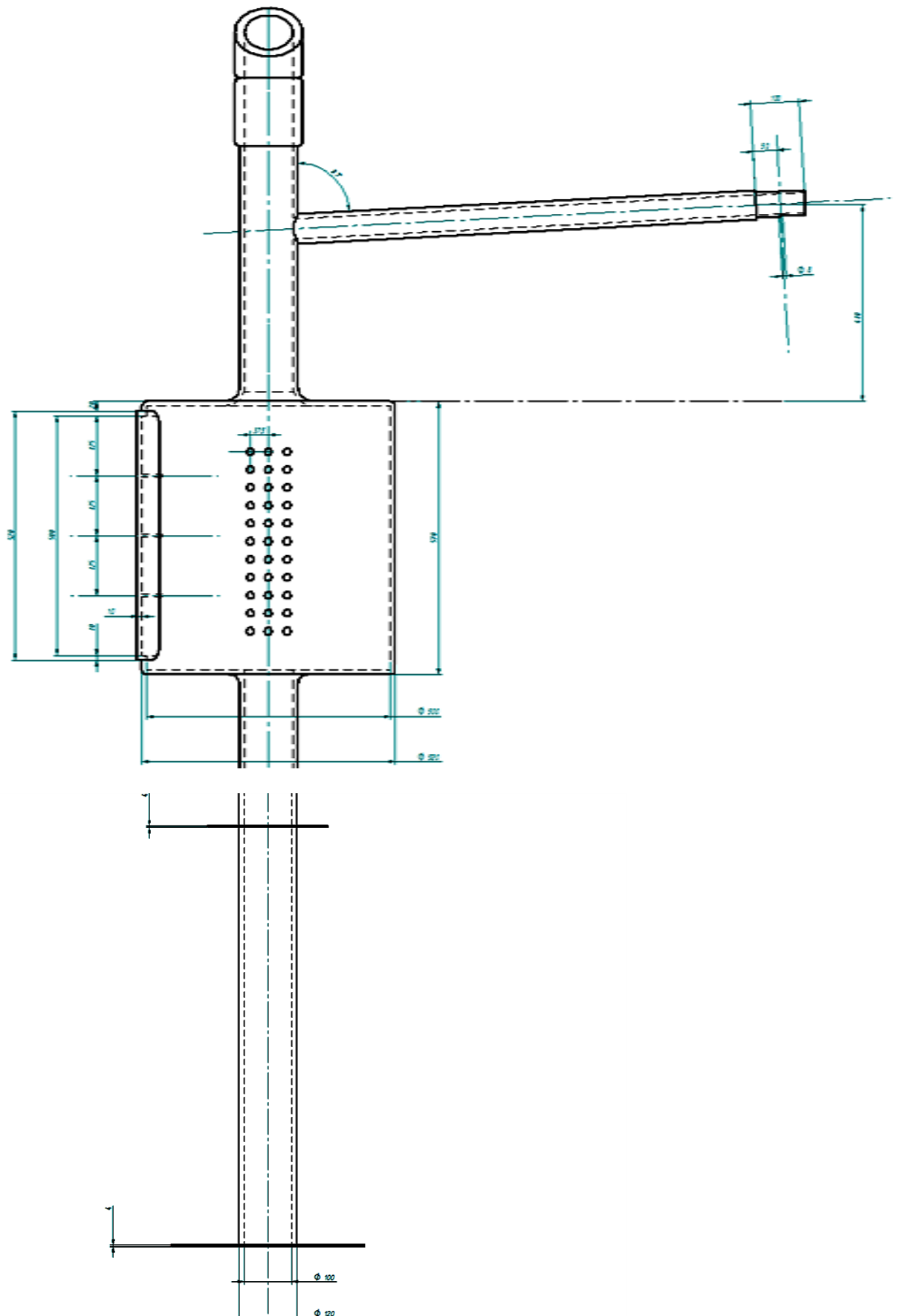


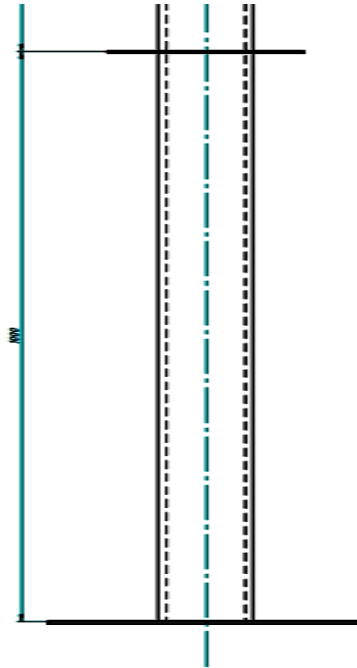
7.2.4.3. Planta:



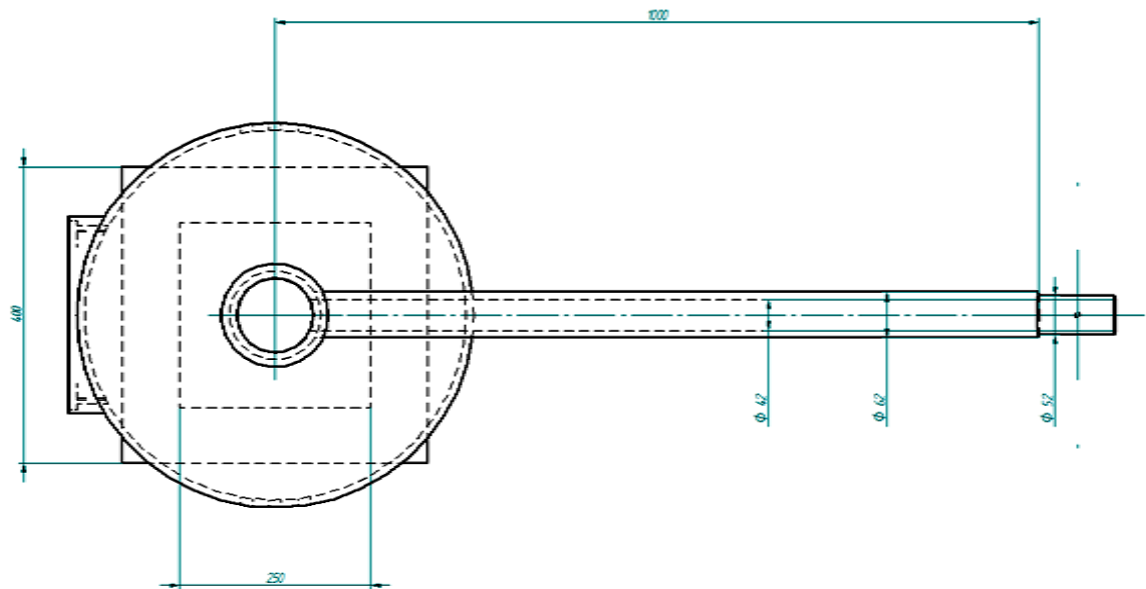
7.2.5. Planos de la estructura-soporte de la luminaria de 70W:

7.2.5.1. Alzado:





7.2.5.3. Planta:



7.3. Representación en 3D:

7.3.1. Estructura-soporte de la luminaria de 30W:

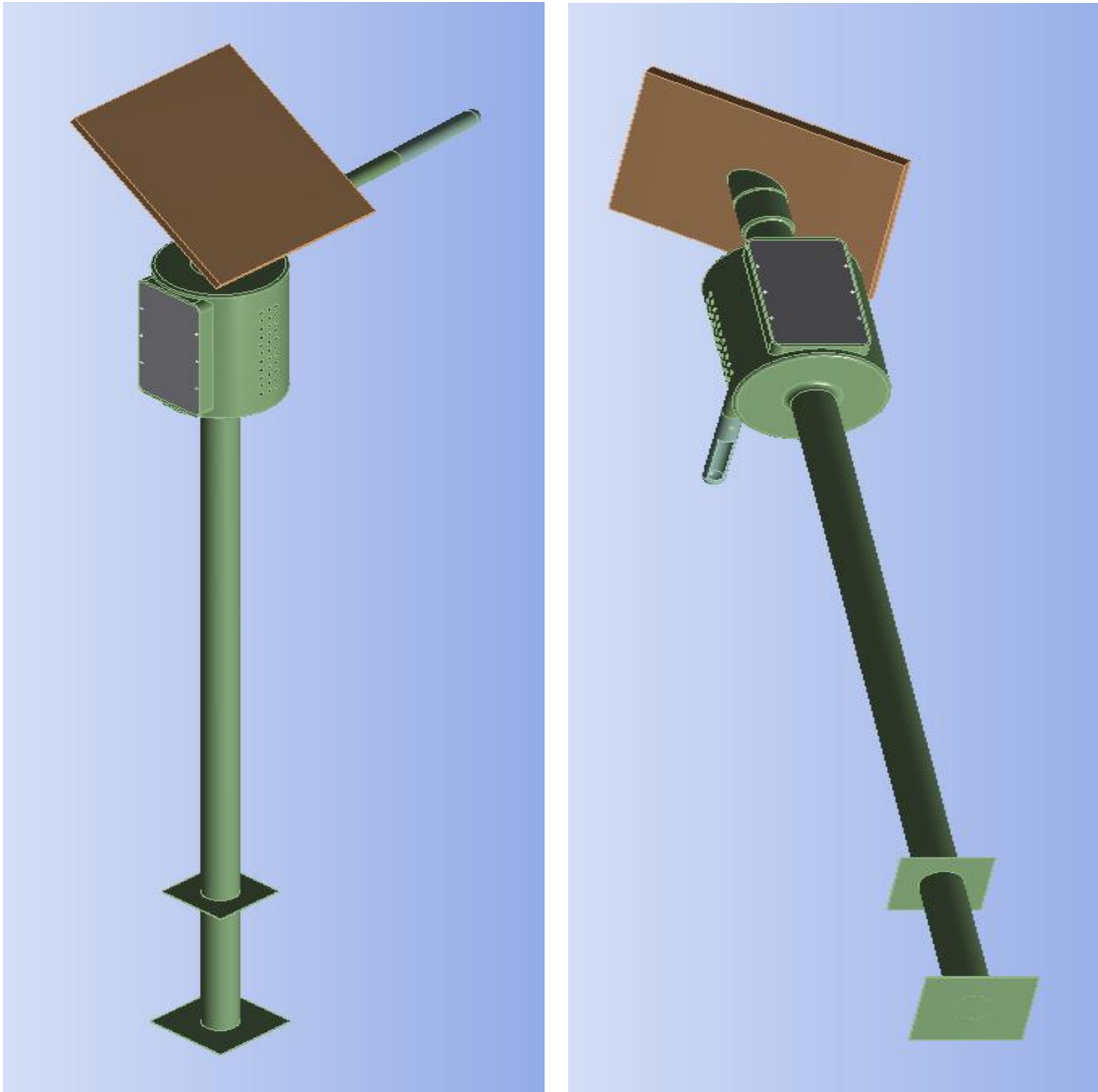


Figura 7.9: Representación en 3D de la estructura-soporte de la luminaria de 30W con su panel fotovoltaico.

7.3.2. Estructura-soporte de la luminaria de 40W:

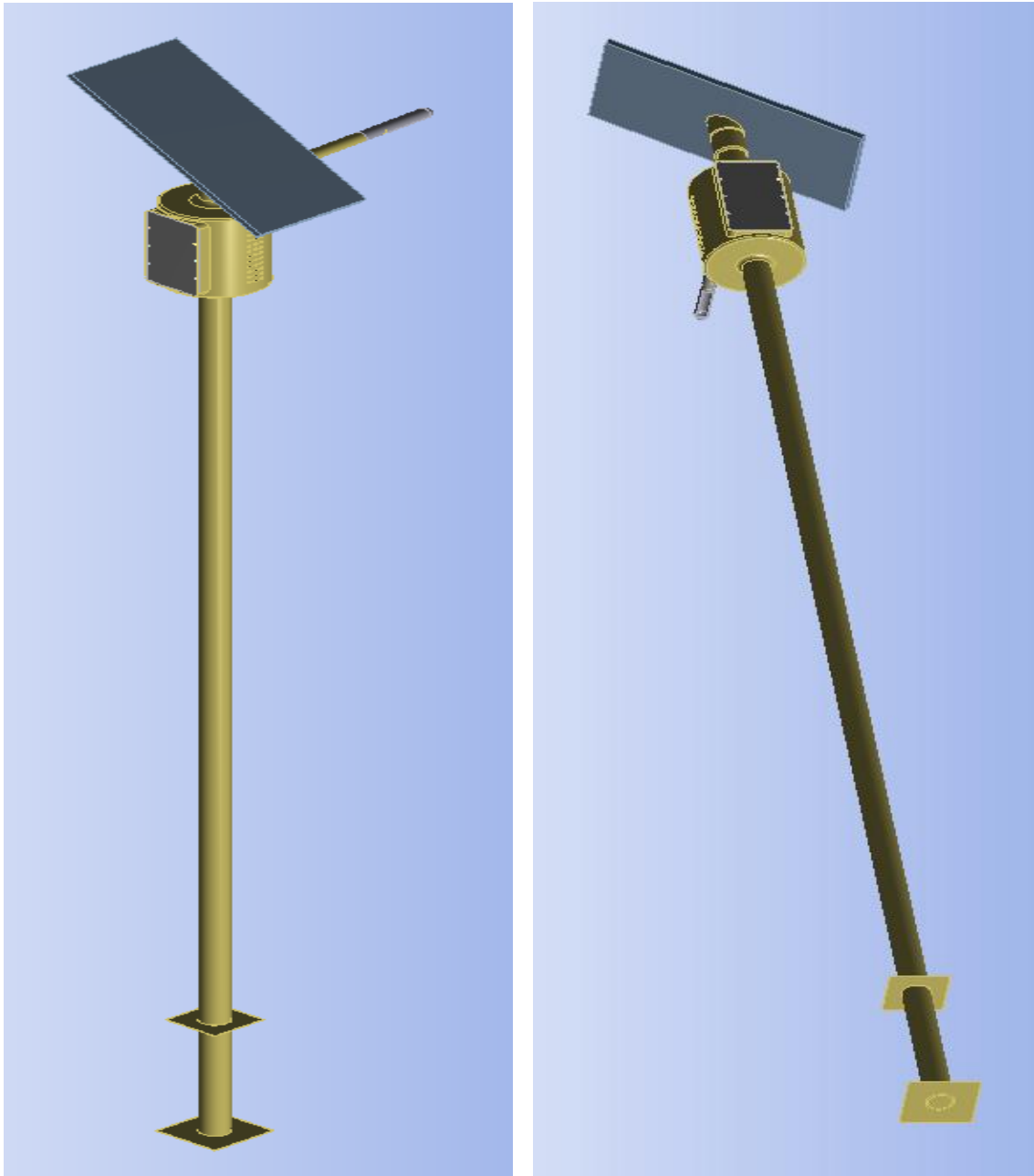


Figura 7.10: Representación en 3D de la estructura-soporte de la luminaria de 40W con su panel fotovoltaico.

7.3.3. Estructura-soporte de la luminaria de 70W:



Figura 7.11: Representación en 3D de la estructura-soporte de la luminaria de 70W con su panel fotovoltaico.

Capítulo 8

Ensayos de verificación

8.1. Simplificaciones:

Aunque los modelos que se plantean construir tienen que tener en cuenta todos los detalles que se han especificado en el capítulo anterior, para la realización de los ensayos se han decidido eliminar aquellos detalles que no son de importancia y que los complican innecesariamente.

Estos nuevos prototipos que se utilizan para los ensayos conservan los valores dimensionales más relevantes de los modelos diseñados en el apartado anterior. La simplificación se ha orientado principalmente a la eliminación de orificios y de redondeos de aristas que unen superficies con distinta orientación.

También se ha prescindido de la puerta de acceso al habitáculo de la batería porque en ninguno de los ensayos ejecutados se ha empleado para aplicar una carga sobre las estructuras-soporte de las luminarias para las farolas solares.

A la hora de cargar las superficies no se ha tenido en cuenta la superposición de unos componentes sobre otros, lo que conlleva aplicar fuerzas con valores superiores a las que estas superficies se encuentran sometidas en la realidad.

Como el estudio se centra en los modelos, los respectivos paneles fotovoltaicos han sido sustituidos por sus respectivas reacciones sobre las estructuras-soporte para las farolas solares. En cuanto a los diferentes componentes electrónicos únicamente se han tenido en cuenta los pesos de las diferentes baterías.

Las razones por las que se han llevado a cabo estas simplificaciones son las siguientes:

- Se reducen los tiempos de simulación.

- Se reduce la complejidad de las mallas generadas sin que tengan efectos significativos en los resultados finales.
- Se consigue un análisis más eficiente.
- Se reducen los recursos de cálculo necesarios a la vez que aumenta la precisión de la simulación.
- Se reduce la probabilidad de obtener errores o fallos durante el proceso de simulación.

8.2. Diseño de la placa para aplicar el peso de la batería:

Para introducir el peso de las distintas baterías en los ensayos sobre el interior del habitáculo de las baterías se ha diseñado una placa con las mismas dimensiones que las baterías seleccionadas y del mismo material que las estructuras-soporte de las farolas solares. Esto supone añadir un cierto peso adicional a las estructuras-soporte pero resulta ser despreciable en comparación con las otras fuerzas aplicadas sobre dichas estructuras. Su diseño es el que se muestra a continuación:

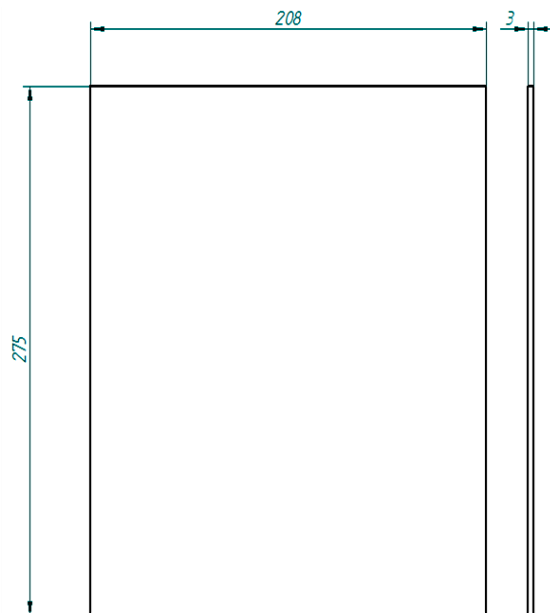


Figura 8.1: Placa para aplicar el peso de la batería sobre ella.

8.3. Diseño de la placa para aplicar la carga estática:

Para introducir las distintas cargas estáticas, en los ensayos de carga estática de los diferentes modelos, sobre la parte superior de la luminaria que se debe cargar

se ha diseñado una placa con la misma área que la superficie crítica (*Apartado 8.4*) y del mismo material que las estructuras-soporte de la farolas solares que se situará en dicha zona. Esto supone añadir un cierto peso adicional a las estructuras-soporte pero resulta despreciable en comparación con las otras fuerzas aplicadas. Su diseño es el que se muestra a continuación:

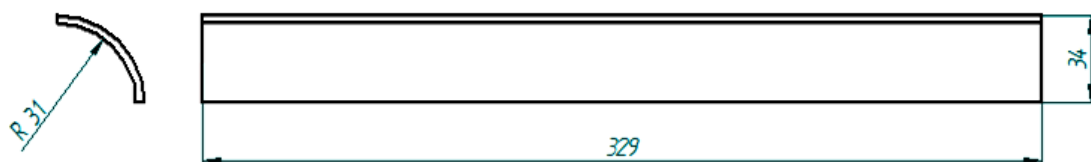


Figura 8.2: Placa para aplicar la carga estática sobre ella.

8.4. Ensayo de carga estática para luminarias o partes externas montadas sobre brazo de columna o poste o sobre la parte alta de un poste:

Dicho ensayo se encuentra recogido en la norma UNE-EN 60598-2-3 en el apartado 3.6.3.1.

El primer paso para la realización del ensayo consiste en seleccionar la superficie crítica donde después se aplicará la carga estática. Para su selección se hace uso de una de las dos formas que se proponen en dicha norma para cargar la luminaria o la parte más externa (*Figura 8.3*).

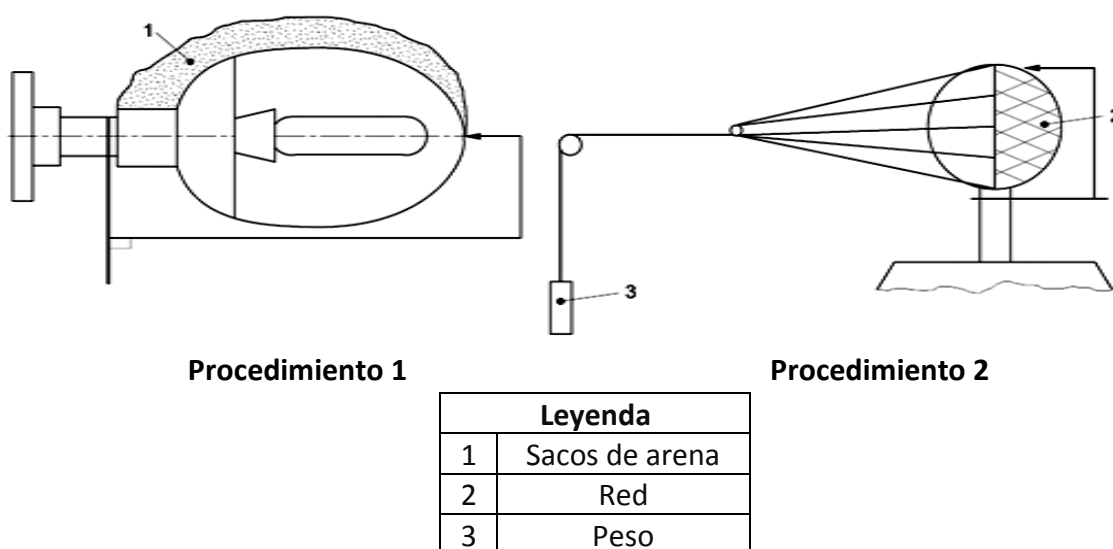


Figura 8.3: Diferentes procedimientos para el ensayo estático de resistencia a la fuerza del viento [6].

Considerando la posición casi horizontal que adoptan las luminarias una vez instaladas, que coincide con el procedimiento 1, se determina que la superficie más crítica es parte superior de las luminarias. Se ha decidido que la distribución uniforme de la carga estática sobre la parte superior de las luminarias (*Figura 8.4*) se va a realizar de la siguiente manera:

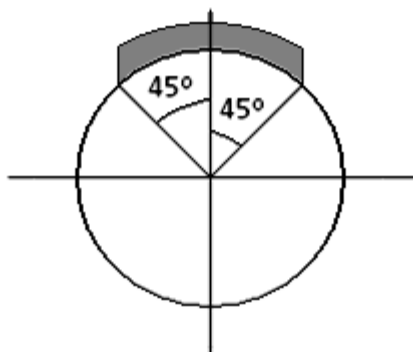


Figura 8.4: Distribución uniforme de la carga estática sobre la superficie crítica.

Suponiendo que se cargan las luminarias totalmente en su dirección longitudinal, salvo en su extremo redondeado, se puede calcular la superficie crítica del ensayo:

$$S = L \cdot R \cdot \alpha = 329\text{mm} \cdot 31\text{mm} \cdot \frac{\pi}{2} = 16020,552\text{mm}^2$$

Se toma como valor para la superficie crítica (*Tabla 8.1*) el siguiente:

Tabla 8.1: Valor de la superficie crítica.

Superficie crítica	0,0161m ²
---------------------------	----------------------

Una vez fijado el valor de la superficie crítica se procede a calcular el valor de la carga estática mediante el empleo de la fórmula que aparece en la normativa:

$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot C_d \cdot V^2 \text{ (N)}$$

- **NOTA:** ρ es la masa volumétrica del aire (1,255 kg/m³).
 V es la velocidad del viento (m/s).
 C_d es el coeficiente de resistencia aerodinámica.
 S es el área de la superficie a cargar.

Según la normativa vigente para calcular las cargas estáticas que deben aplicarse en este ensayo sobre las distintas estructuras-soporte se tiene que utilizar una velocidad de viento que es función de la altura de montaje de la luminaria. La velocidad del viento depende de las alturas de montaje de las luminarias de la siguiente manera:

- $V = 45 \text{ m/s}$ (163km/h) para alturas de montaje de hasta 8 metros.
- $V = 52 \text{ m/s}$ (188km/h) para alturas de montaje comprendidas entre 8 metros y 15 metros.
- $V = 57 \text{ m/s}$ (205km/h) para alturas de montaje mayores de 15 metros.

Siguiendo dicha normativa las velocidades de viento para cada ensayo (*Tabla 8.2*) son las siguientes:

Tabla 8.2: Velocidades del viento para cada uno de los tres diseños.

Luminaria	Altura de montaje	Velocidad del viento
30W	3m	45m/s
40W	6m	45m/s
70W	8m	52m/s

- **NOTA:** si se comparan dichas velocidades con las velocidades propias de la región donde se va a realizar la instalación se observan que son muy superiores. Si los resultados obtenidos son positivos se garantiza un correcto funcionamiento.

El coeficiente de resistencia aerodinámica depende de la forma de la superficie. Para luminarias o partes externas en las que no se mida el valor de C_d se debe tomar el valor de 1,2.

Una vez fijados los parámetros se sustituyen en la fórmula que proporciona la normativa para obtener los valores de las cargas estáticas (*Tabla 8.3*) que se tienen que aplicar sobre las luminarias:

Tabla 8.3: Cargas estáticas para cada uno de los tres modelos.

Luminaria	Carga estática
30W	24,550N
40W	24,550N
70W	32,782N

Al realizarse una simplificación de las estructuras-soporte de las farolas solares para los ensayos y al incorporarse dos placas para la aplicación de cargas se decide emplear un coeficiente de 10 en todas las cargas que se apliquen a dichas estructuras-soporte para garantizar el adecuado cumplimiento de este ensayo.

Teniendo en cuenta lo anterior las cargas aplicadas en cada uno de los ensayos de carga estática de las tres estructuras-soporte (*Tabla 8.4*) son las siguientes:

Tabla 8.4: Cargas aplicadas en los ensayos de carga estática.

Luminaria de 30W	
Peso batería	3430N
Peso panel	617,4N
Carga estática	245,5N

Luminaria de 40W	
Peso batería	4410N
Peso panel	784N
Carga estática	245,5N

Luminaria de 70W	
Peso batería	6272N
Peso panel	1764N
Carga estática	327,82N

Una vez que se han realizado los ensayos para cada modelo no debe apreciarse ningún fallo que afecte a la seguridad, ni deformación permanente en la fijación que exceda una pendiente de 2cm/m, ni rotación alrededor del punto de fijación.

8.4.1. Resultados del ensayo de carga estática para la estructura-soporte de la luminaria de 30W:

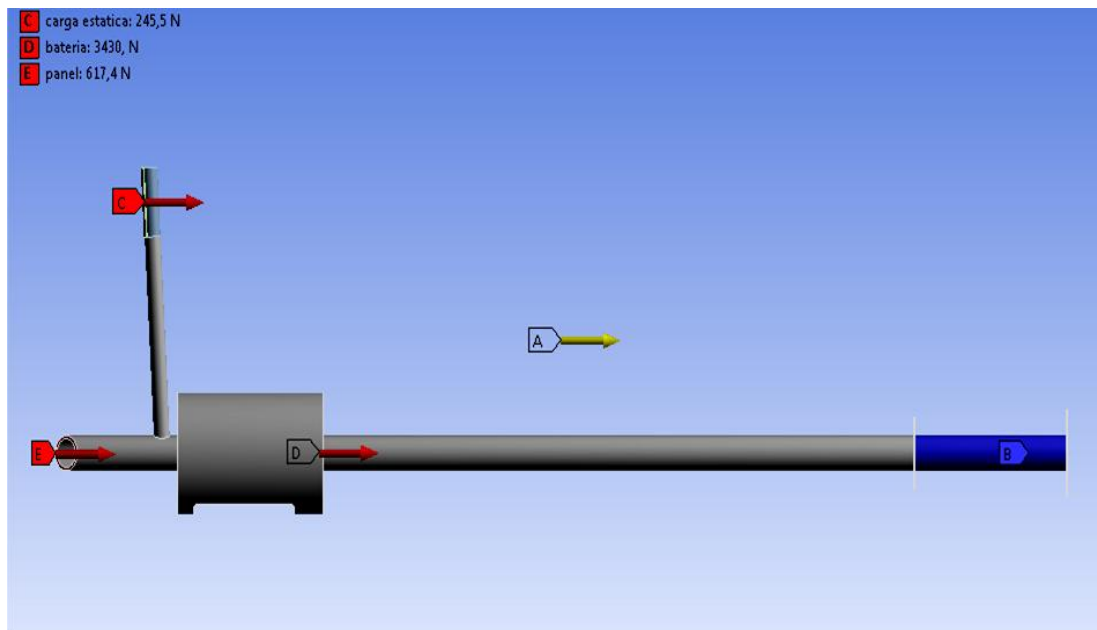


Figura 8.5: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

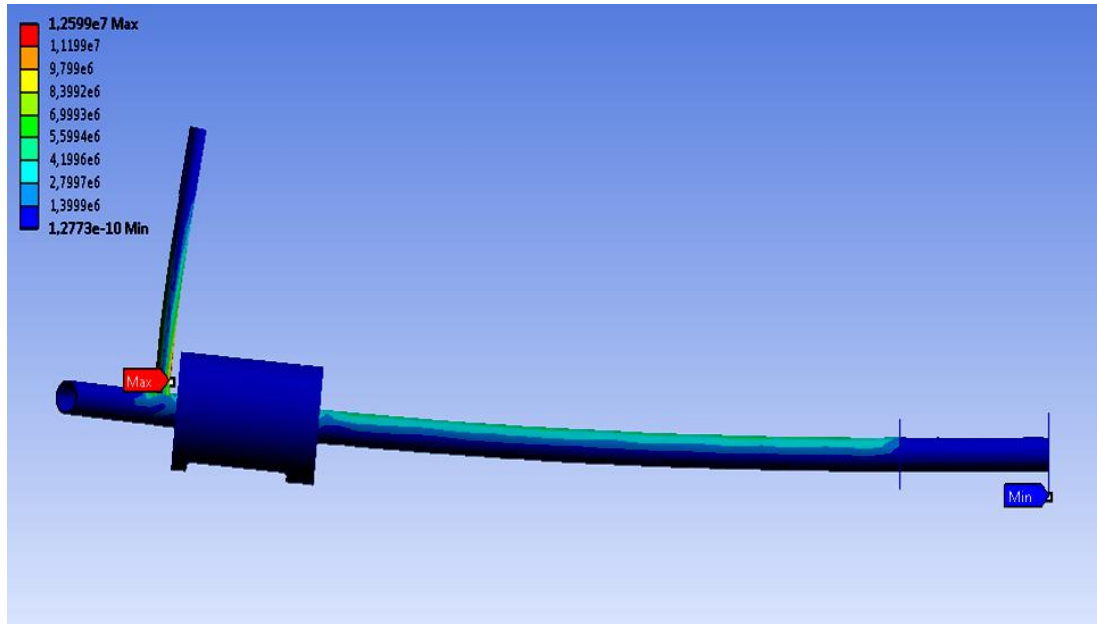


Figura 8.6: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

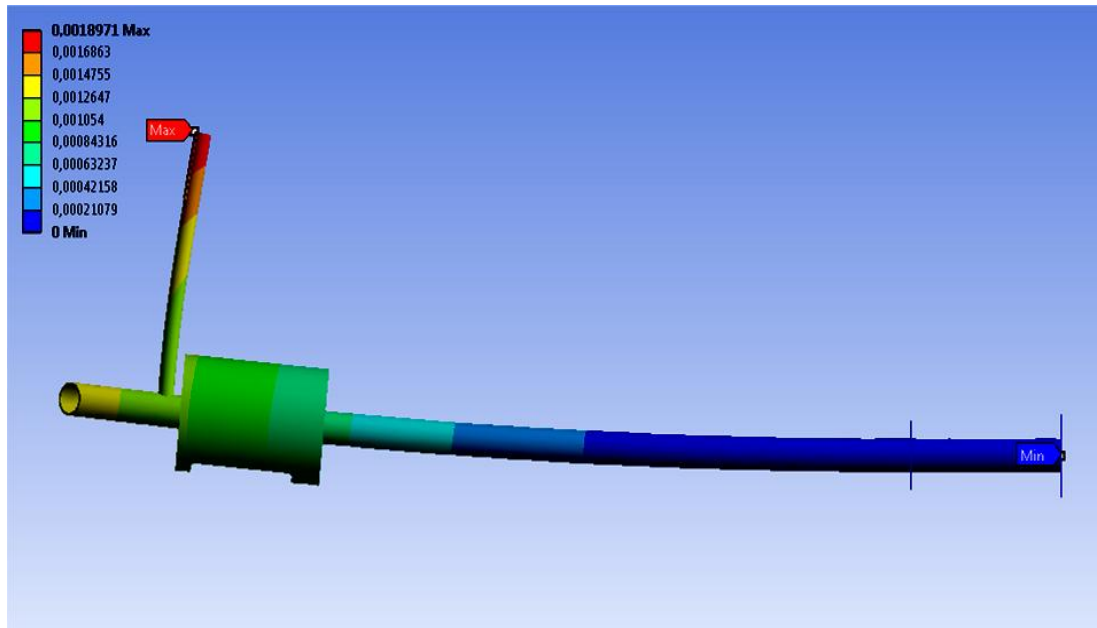


Figura 8.7: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

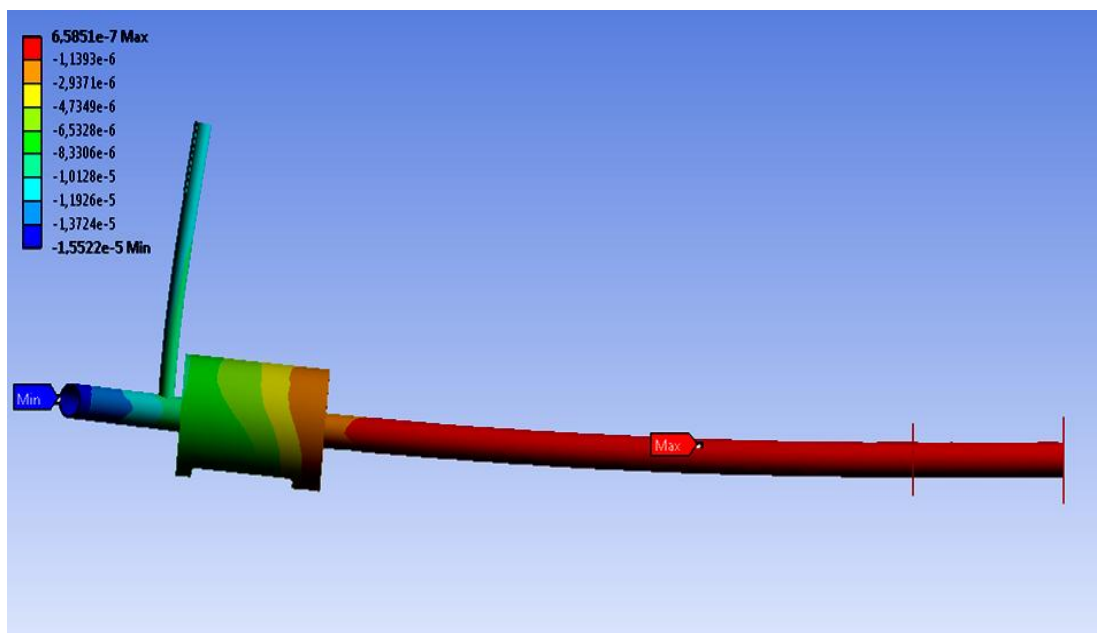


Figura 8.8: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

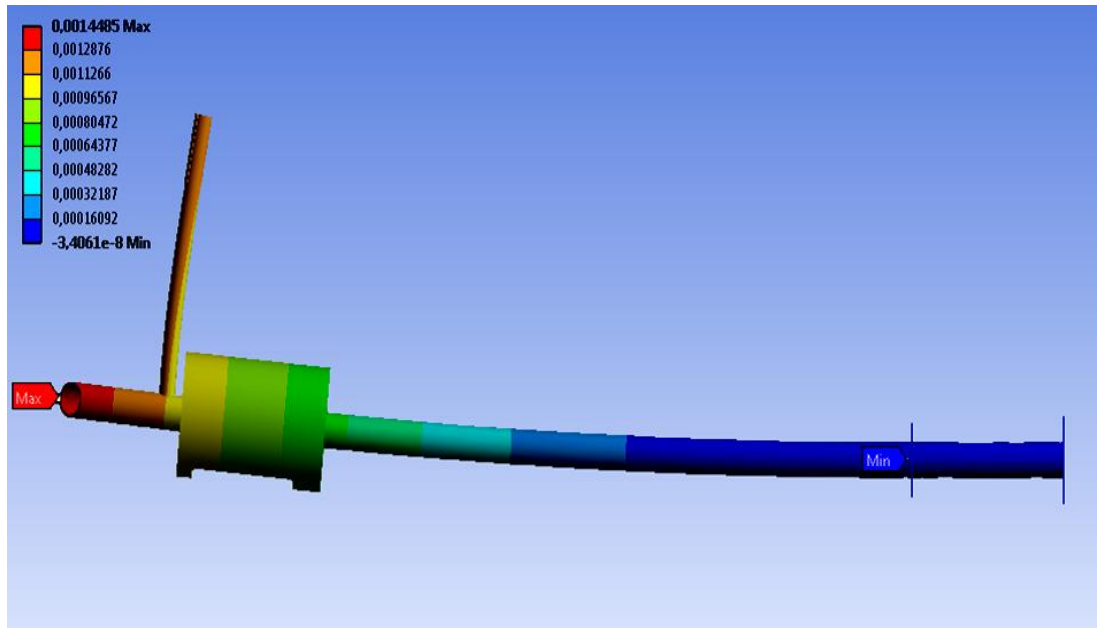


Figura 8.9: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

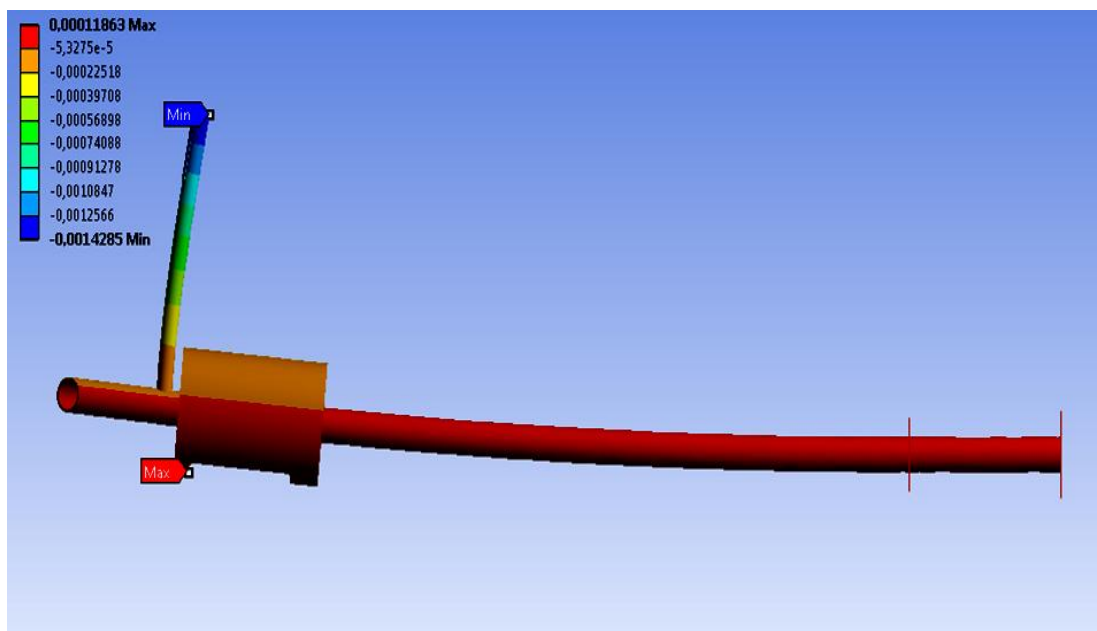


Figura 8.10: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

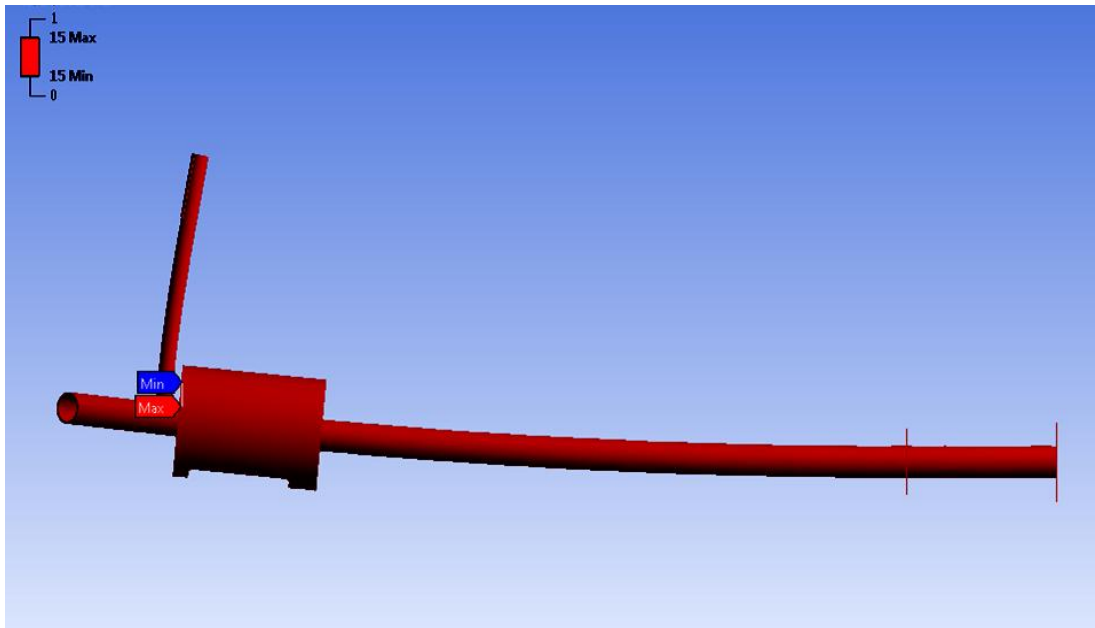


Figura 8.11: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

El punto de máxima tensión ($1,2599 \cdot 10^7 \text{ Pa}$), que es inferior al límite elástico del material, se localiza en la zona inferior de la unión que existe entre el brazo-soporte de la luminaria y el soporte del panel fotovoltaico. Dicho punto es un concentrador de tensiones. El punto de mínima tensión ($1,2773 \cdot 10^{-10} \text{ Pa}$) se encuentra situado en la placa base debido a que ésta se encuentra cimentada.

El punto de máxima deformación total ($0,0018971 \text{ m}$) se encuentra localizado en el extremo libre de la luminaria y el punto de mínima deformación total (0 m) se encuentra en la placa base debido a que ésta está cimentada.

El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje X ($6,5851 \cdot 10^{-7} \text{ m}$) está situado en el báculo. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Y ($0,0014485 \text{ m}$) está situado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Z ($0,00011863 \text{ m}$) está situado en la zona superior de la puerta de acceso al habitáculo de la batería.

Los factores de seguridad máximo y mínimo coinciden (15) y son mayores que 1,2.

8.4.2. Resultados del ensayo de carga estática para la estructura-soporte de la luminaria de 40W:

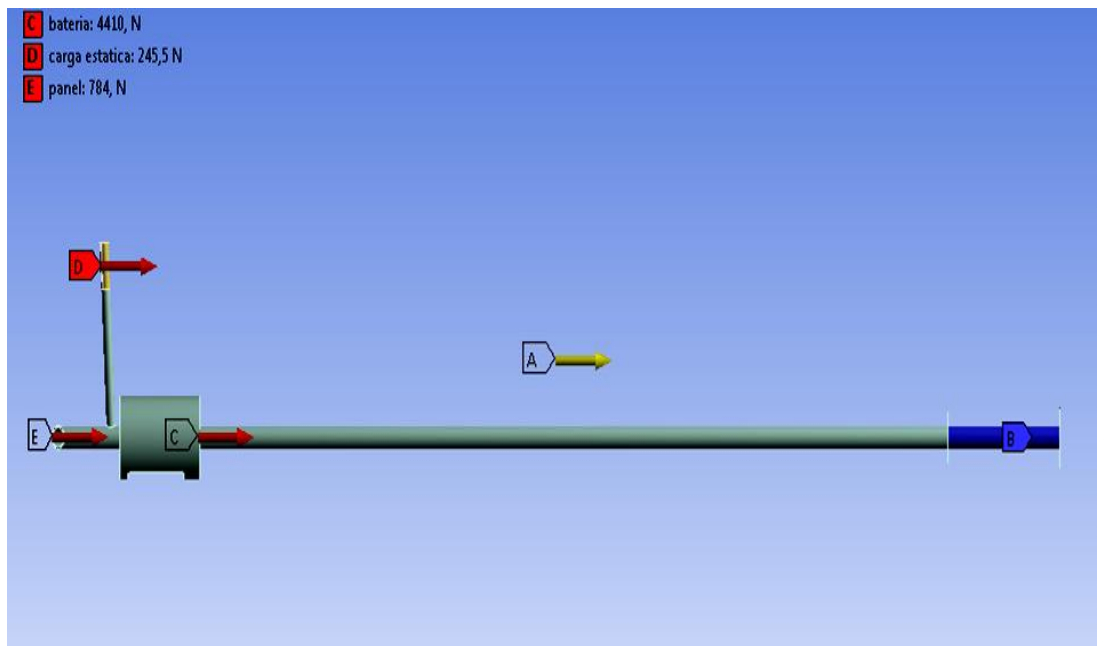


Figura 8.12: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

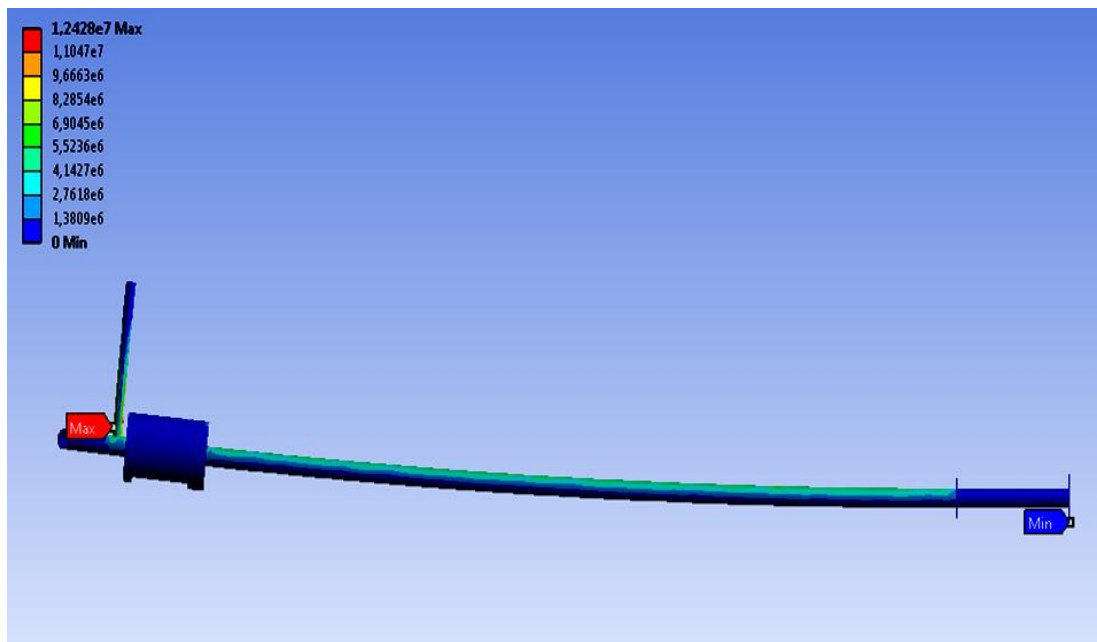


Figura 8.13: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

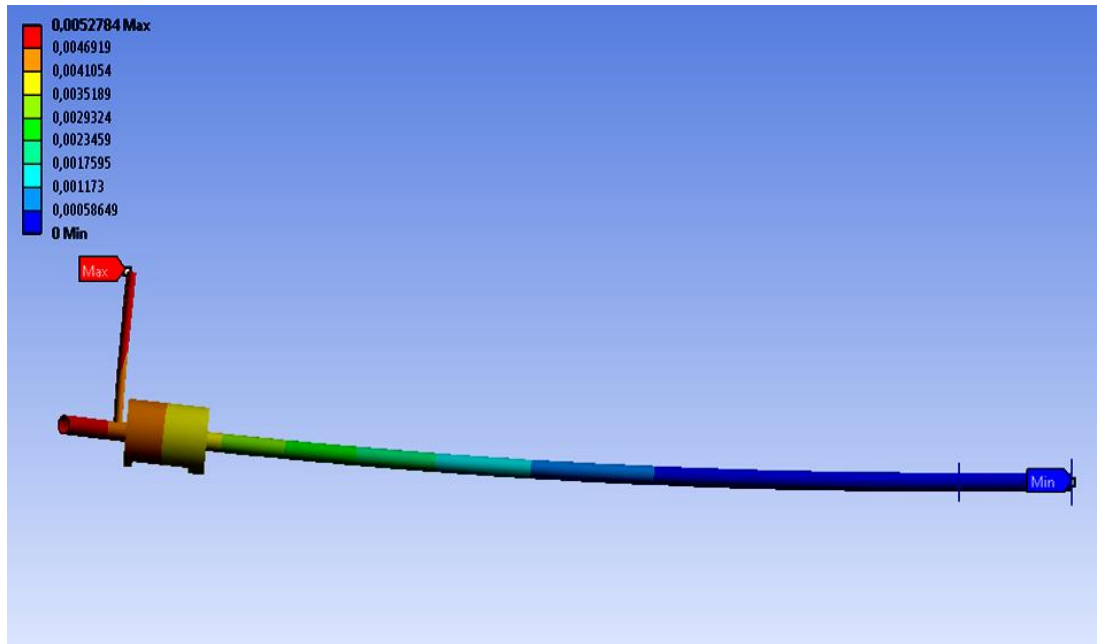


Figura 8.14: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

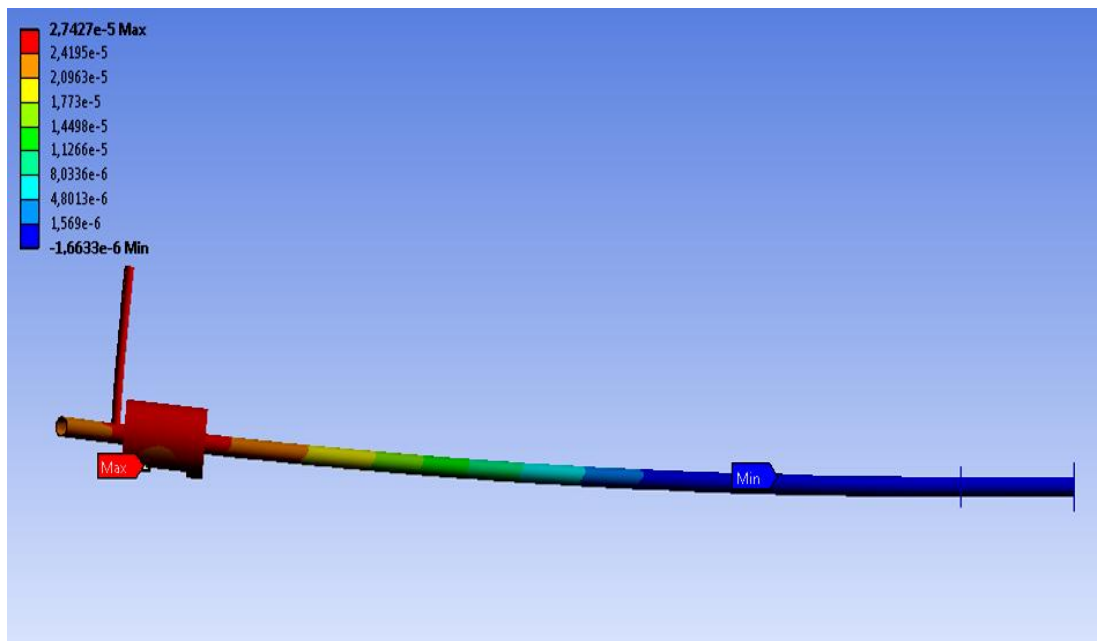


Figura 8.15: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

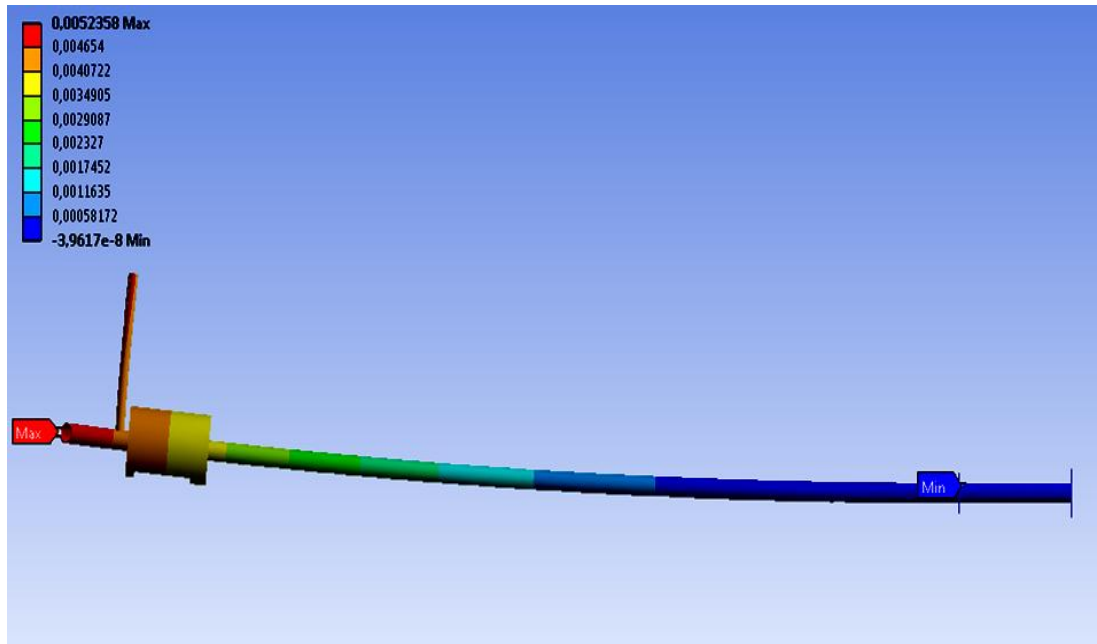


Figura 8.16: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

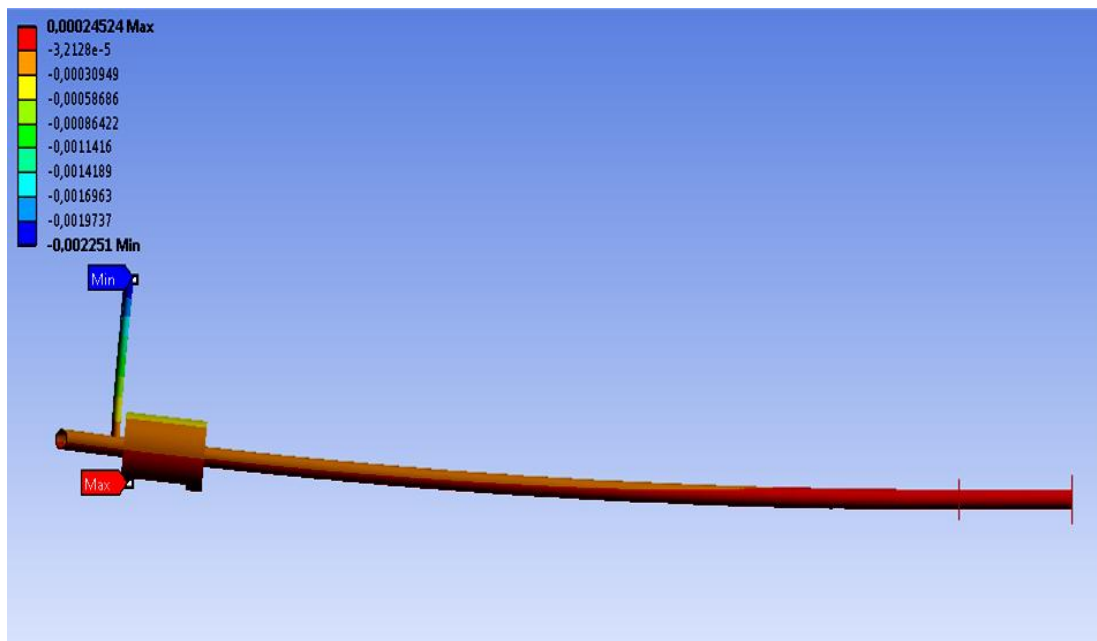


Figura 8.17: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

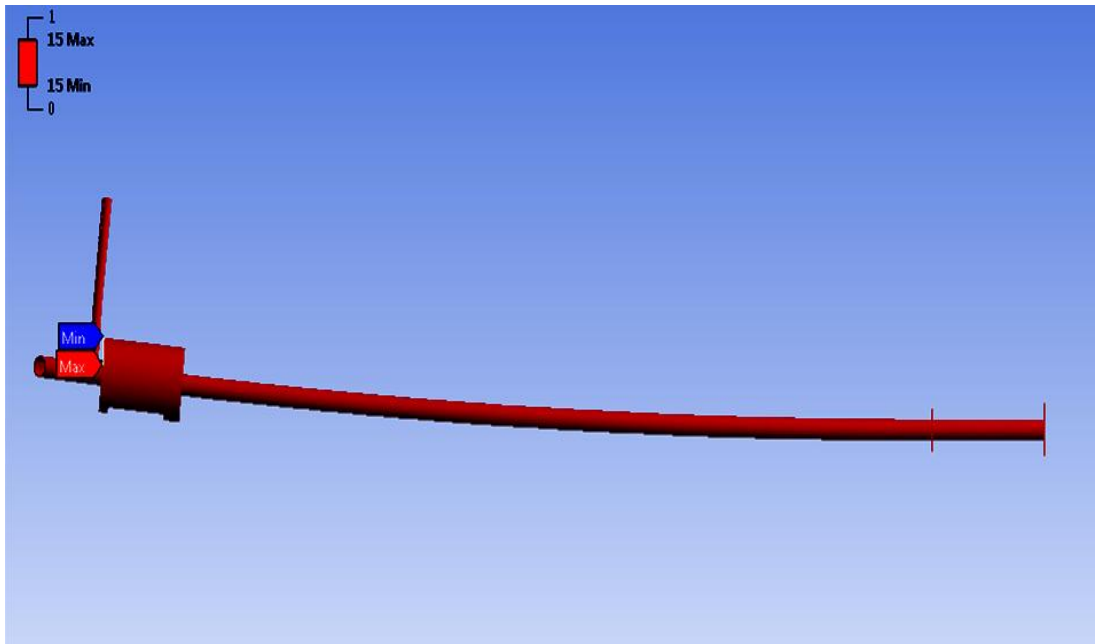


Figura 8.18: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

El punto de máxima tensión ($1,2428 \cdot 10^7 \text{ Pa}$), que es inferior al límite elástico del material, se localiza en la zona inferior de la unión que existe entre el brazo-soporte de la luminaria y el soporte del panel fotovoltaico. Dicho punto es un concentrador de tensiones. El punto de mínima tensión (0 Pa) se encuentra situado en la placa base debido a que ésta se encuentra cimentada.

El punto de máxima deformación total ($0,0052784 \text{ m}$) se encuentra localizado en el extremo libre de la luminaria y el punto de mínima deformación total (0 m) se encuentra en la placa base debido a que ésta está cimentada.

El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje X ($2,7427 \cdot 10^{-5} \text{ m}$) está situado en la zona superior de la puerta de acceso al habitáculo de la batería. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Y ($0,0052358 \text{ m}$) está situado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Z ($0,00024524 \text{ m}$) está situado en la zona superior de la puerta de acceso al habitáculo de la batería.

Los factores de seguridad máximo y mínimo coinciden (15) y son mayores que 1,2.

8.4.3. Resultados del ensayo de carga estática para la estructura-soporte de la luminaria de 70W:

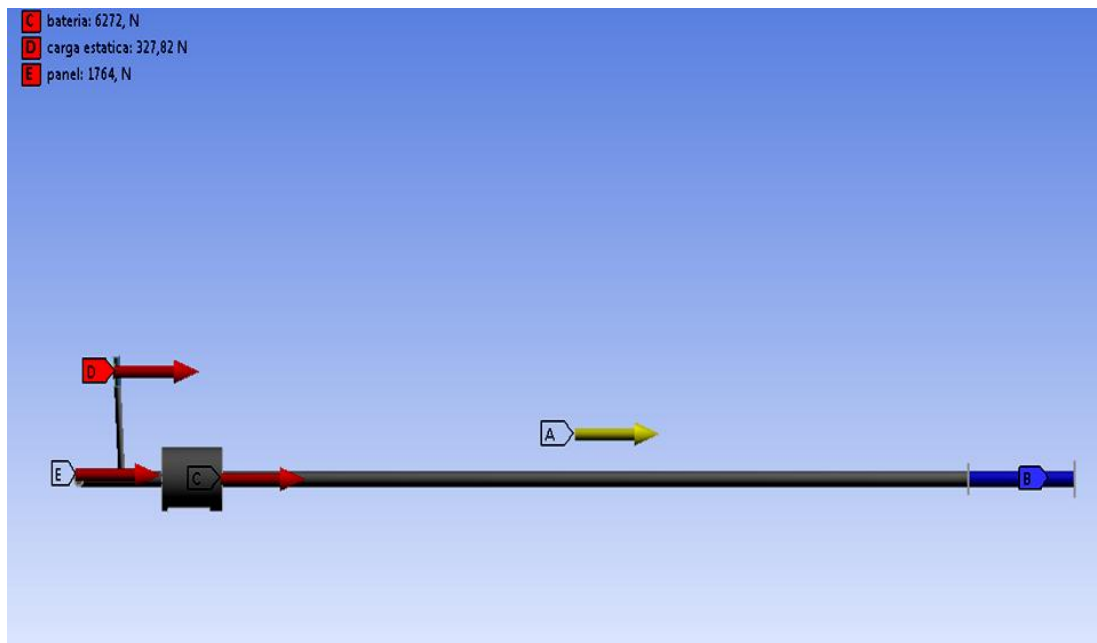


Figura 8.19: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

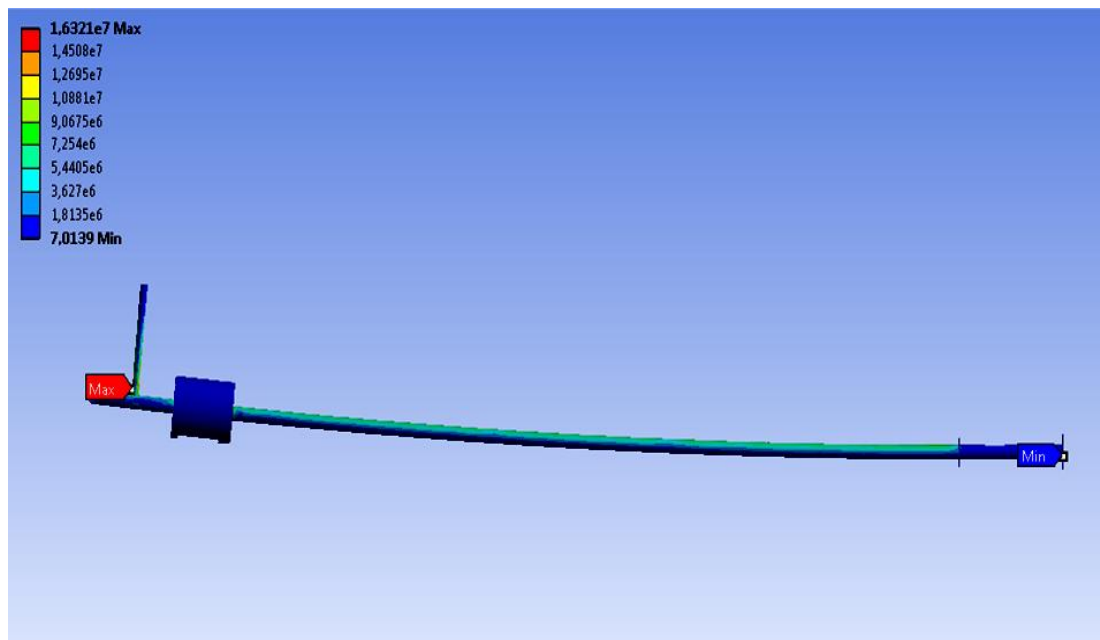


Figura 8.20: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

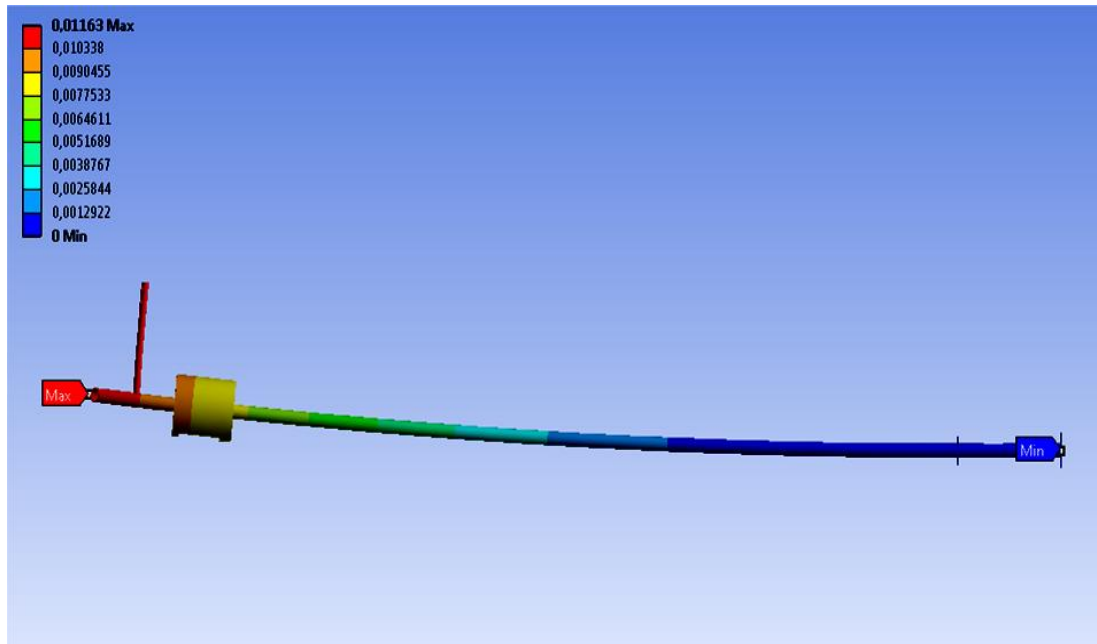


Figura 8.21: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

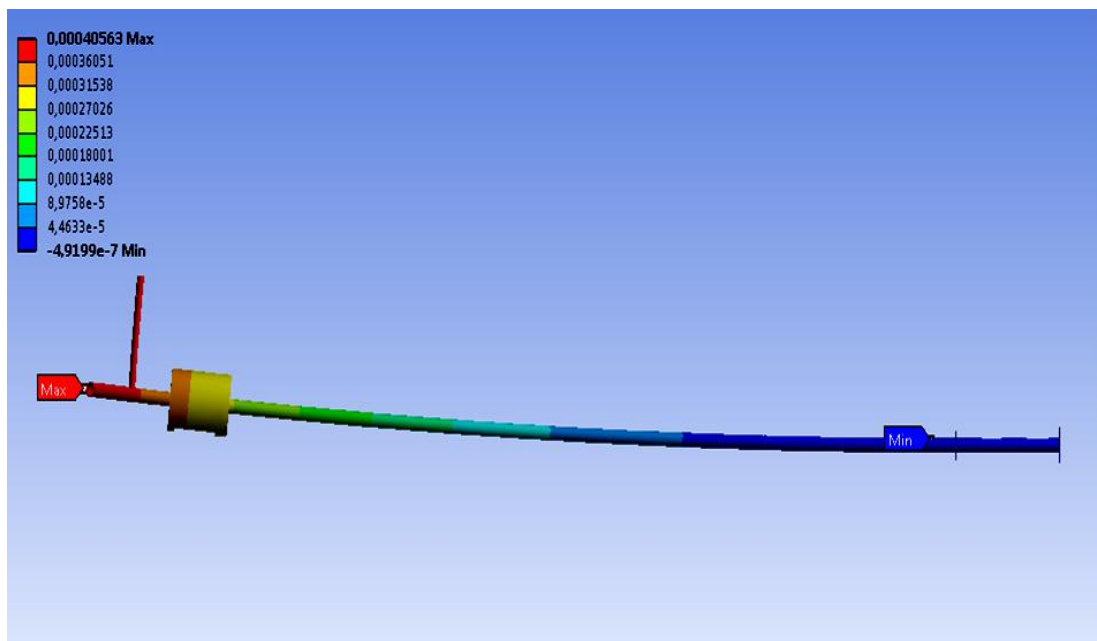


Figura 8.22: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

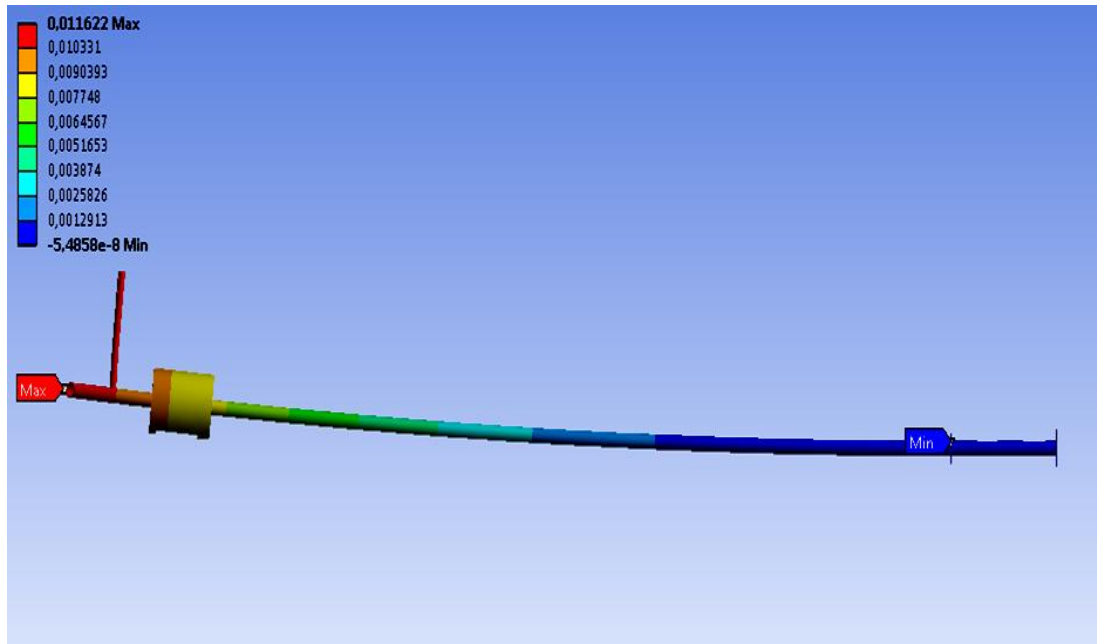


Figura 8.23: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

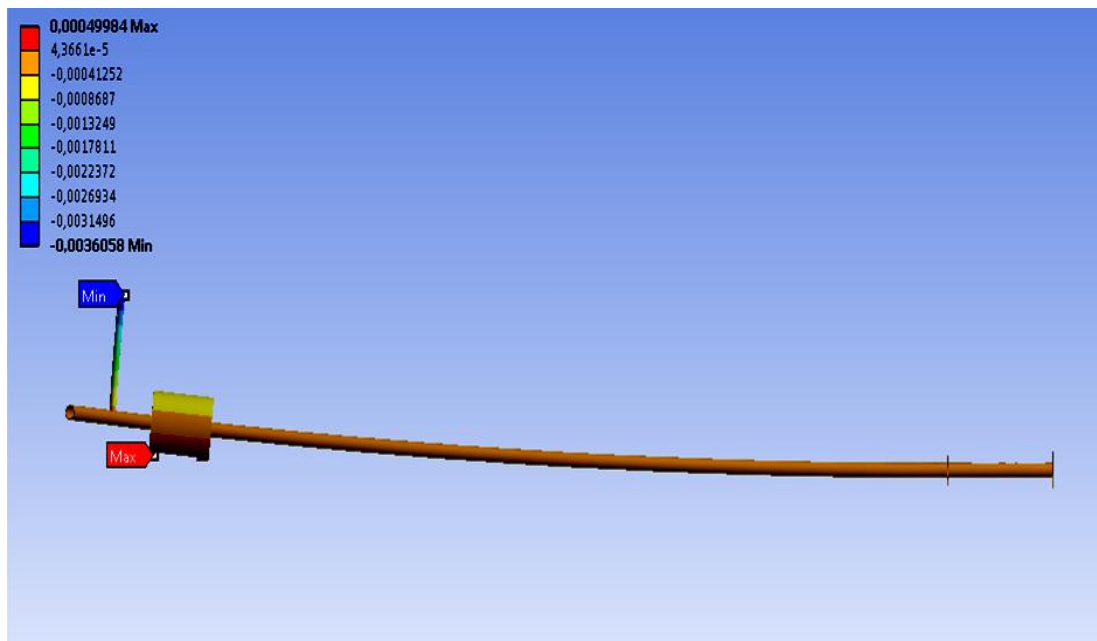


Figura 8.24: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

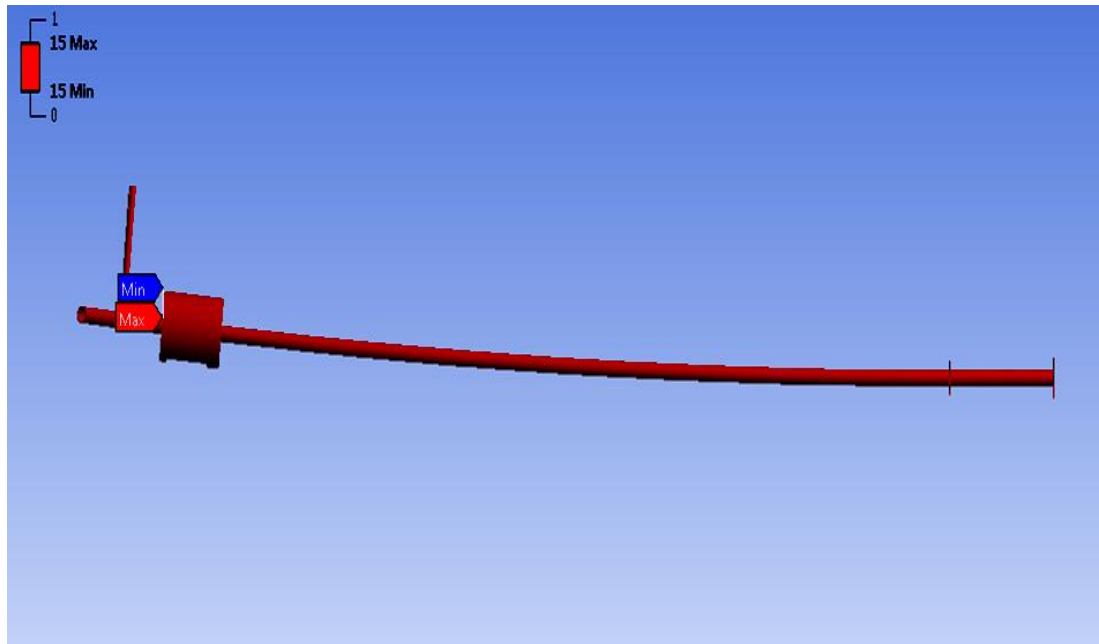


Figura 8.25: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

El punto de máxima tensión ($1,6321 \cdot 10^7 \text{ Pa}$), que es inferior al límite elástico del material, se localiza en la zona inferior de la unión que existe entre el brazo-soporte de la luminaria y el soporte del panel fotovoltaico. Dicho punto es un concentrador de tensiones. El punto de mínima tensión ($7,0319 \text{ Pa}$) se encuentra situado en la placa base debido a que ésta se encuentra cimentada.

El punto de máxima deformación total ($0,01163 \text{ m}$) se encuentra localizado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte, y el punto de mínima deformación total (0 m) se encuentra en la placa base debido a que ésta se encuentra cimentada.

El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje X ($0,00040563 \text{ m}$) está situado en la unión entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Y ($0,011622 \text{ m}$) está situado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Z ($0,00049984 \text{ m}$) está situado en la zona superior de la puerta de acceso al habitáculo de la batería.

Los factores de seguridad máximo y mínimo coinciden (15) y son mayores que 1,2.

8.5. Ensayo de la estructura-soporte a velocidad de viento de 150km/h:

Dicho ensayo se encuentra recogido en la norma UNE-EN 60598-2-3.

Según la norma, los medios de fijación de la luminaria o de la parte externa de su soporte, deben ser apropiados al peso de la luminaria o de la parte externa y la fijación debe estar concebida para soportar velocidades del viento de 150km/h sobre la superficie proyectada del conjunto, sin deformación excesiva.

En este ensayo se van a someter a las estructuras-soporte de la farolas solares de cada uno de los tres modelos a las fuerzas generadas por velocidades de viento de 150km/h en cuatro situaciones distintas:

- Dirección de la velocidad paralela al suelo e incidente sobre la superficie libre del panel fotovoltaico.
 - Dirección de la velocidad paralela e incidente sobre la superficie del panel fotovoltaico que se une a la estructura-soporte de la farola solar.
 - Dirección de la velocidad perpendicular al panel e incidente sobre la superficie libre del panel fotovoltaico.
 - Dirección de la velocidad perpendicular al panel e incidente sobre la superficie del panel fotovoltaico que se une a la estructura-soporte de la farola solar.
-
- **NOTA:** conviene recordar que en ninguno de los ensayos se tienen en cuenta reducciones de superficie debido a la superposición de unos elementos sobre otros. No olvidar que, además de las fuerzas que se calculan en cada ensayo, también se aplican sobre la estructura-soporte el peso de la batería y el peso del panel fotovoltaico asignados a cada modelo. La carga del panel que se utiliza en los ensayos es la resultante de sumar el peso del panel y la fuerza ejercida por el viento sobre el mismo.

8.5.1. Dirección de la velocidad paralela al suelo:

Como paso previo para este ensayo es necesario calcular la fuerza que ejerce el viento sobre las superficies de las estructuras-soporte, sobre las luminarias y sobre los paneles fotovoltaicos.

En primer lugar se tiene que calcular la presión ejercida por el viento sobre las diferentes superficies. Para ello se empleará la siguiente fórmula:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2$$

Sustituyendo en la fórmula anterior se obtiene el valor de la presión:

$$P = \frac{1}{2} \cdot 1,255 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (150 \frac{\text{km}}{\text{h}} / 3,6)^2 = 1089,410 \text{Pa}$$

Después de haber obtenido la presión se puede proceder a calcular la fuerza sobre las superficies que presentan resistencia al viento mediante la siguiente ecuación:

$$F = C_d \cdot P \cdot A$$

- **NOTA:** C_d es el coeficiente de resistencia de la superficie (2 para superficies planas y 1,2 para superficies cilíndricas).
 P es la presión ejercida por el viento.
 A es el área de la superficie proyectada.

Antes de calcular las fuerzas es necesario determinar las diferentes áreas proyectadas de las superficies que presentan resistencia al viento.

Para este ensayo la única área proyectada es la del panel fotovoltaico, que se puede calcular mediante trigonometría (*Figura 8.26*), tal y como se muestra en la siguiente figura:

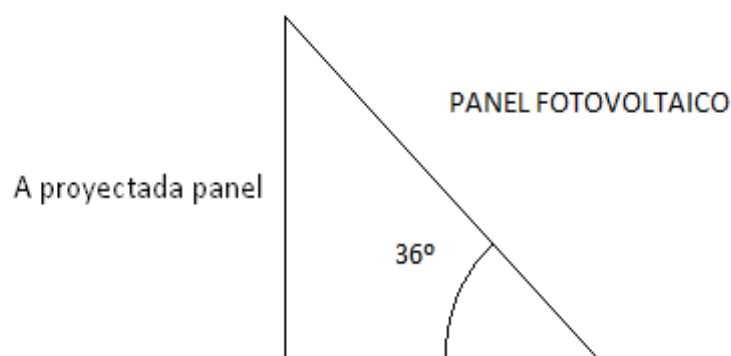


Figura 8.26: Trigonometría para calcular el área proyectada del panel fotovoltaico.

De acuerdo a la figura anterior el área proyectada del panel fotovoltaico es:

$$A_{\text{proyectada panel}} = A_{\text{panel fotovoltaico}} \cdot \text{sen}(36^\circ)$$

Sustituyendo se obtienen las áreas proyectadas de los paneles fotovoltaicos en cada uno de los tres casos (*Tabla 8.5*):

Tabla 8.5: Área proyectada de los paneles fotovoltaicos.

Luminaria	Área panel fotovoltaico	Área proyectada panel
30W	0,513m ²	0,302m ²
40W	0,648m ²	0,381m ²
70W	1,347m ²	0,792m ²

A continuación se calculan las fuerzas ejercidas sobre los paneles fotovoltaicos (*Tabla 8.6*):

Tabla 8.6: Carga sobre los paneles fotovoltaicos.

Luminaria	Carga sobre el panel fotovoltaico
30W	658,004N
40W	830,131N
70W	1725,626N

Las áreas de los elementos restantes (*Tabla 8.7*) cuyas superficies presentan resistencia al viento son las siguientes:

Tabla 8.7: Área proyectada de los elementos restantes que ofrecen resistencia al viento.

Luminaria	Elemento	Área proyectada
30W	Lateral habitáculo	0,240m ²
	Báculo	0,280m ²
	Soporte panel	0,059m ²
	Luminaria	0,015m ²
	Brazo	0,047m ²
40W	Lateral habitáculo	0,240m ²
	Báculo	0,640m ²
	Soporte panel	0,059m ²
	Luminaria	0,015m ²
	Brazo	0,047m ²
70W	Lateral habitáculo	0,297m ²
	Báculo	0,843m ²
	Soporte panel	0,099m ²
	Luminaria	0,015m ²
	Brazo	0,047m ²

Con dichas áreas se procede a calcular las fuerzas ejercidas sobre los restantes elementos (*Tabla 8.8*):

Tabla 8.8: Carga sobre los elementos restantes que presentan resistencia al viento.

Luminaria	Elemento	Carga viento
30W	Lateral habitáculo	313,751N
	Báculo	366,042N
	Soporte panel	77,131N
	Luminaria	19,610N
	Brazo	61,443N
40W	Lateral habitáculo	313,751N
	Báculo	836,667N
	Soporte panel	77,131N
	Luminaria	19,610N
	Brazo	61,443N
70W	Lateral habitáculo	388,266N
	Báculo	1102,048N
	Soporte panel	129,422N
	Luminaria	19,610N
	Brazo	61,443N

8.5.1.1. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad paralela al suelo e incidente sobre la superficie libre del panel fotovoltaico para la estructura-soporte de la luminaria de 30W:

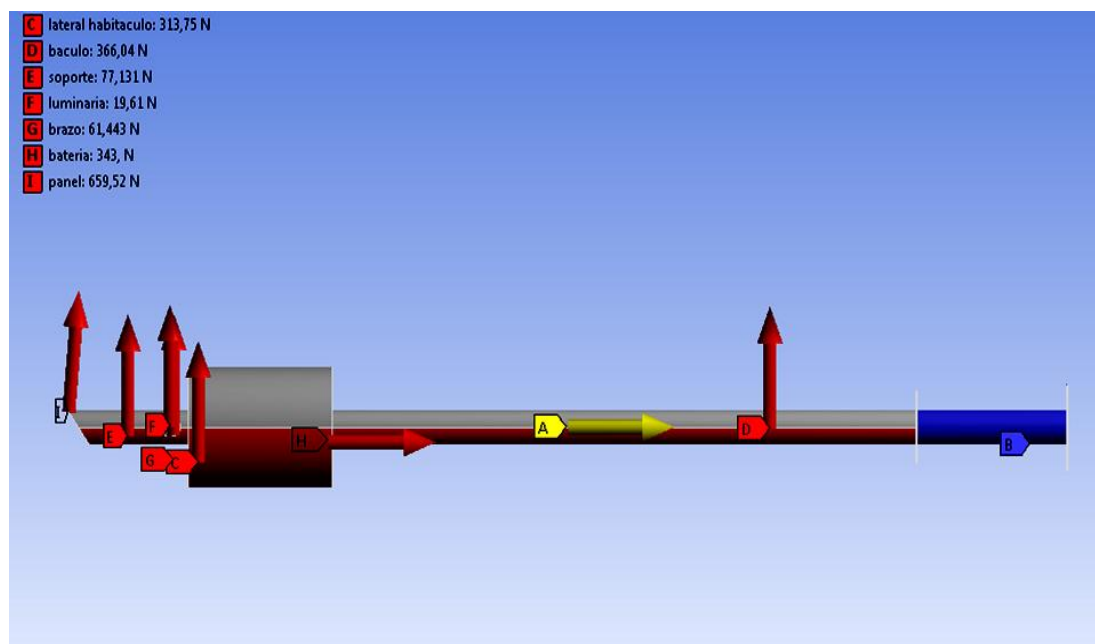


Figura 8.27: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

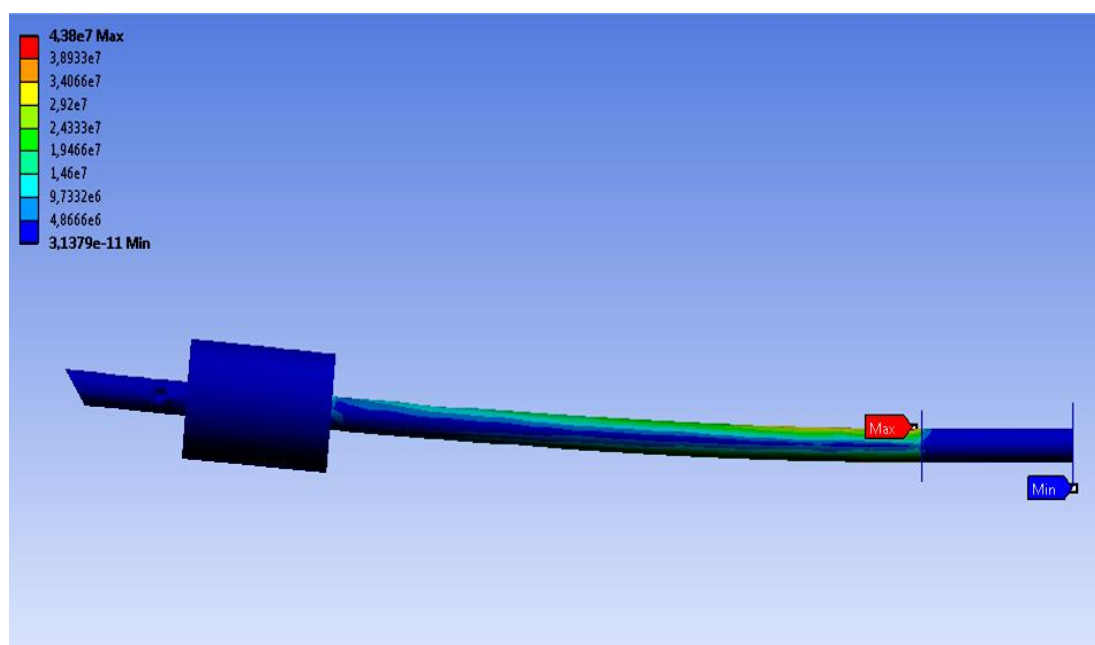


Figura 8.28: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

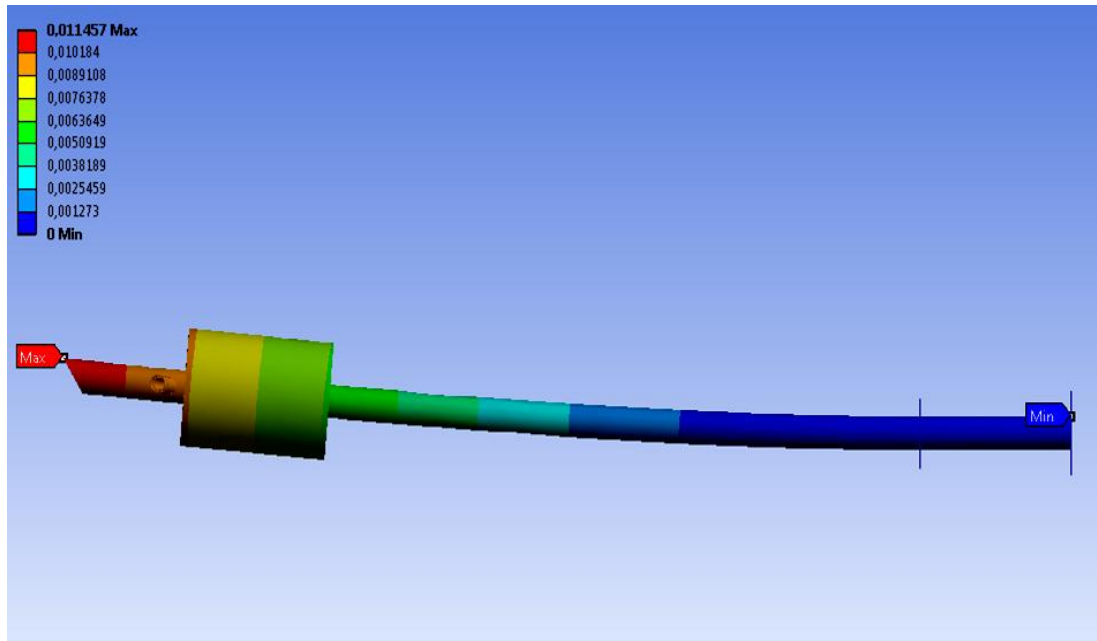


Figura 8.29: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

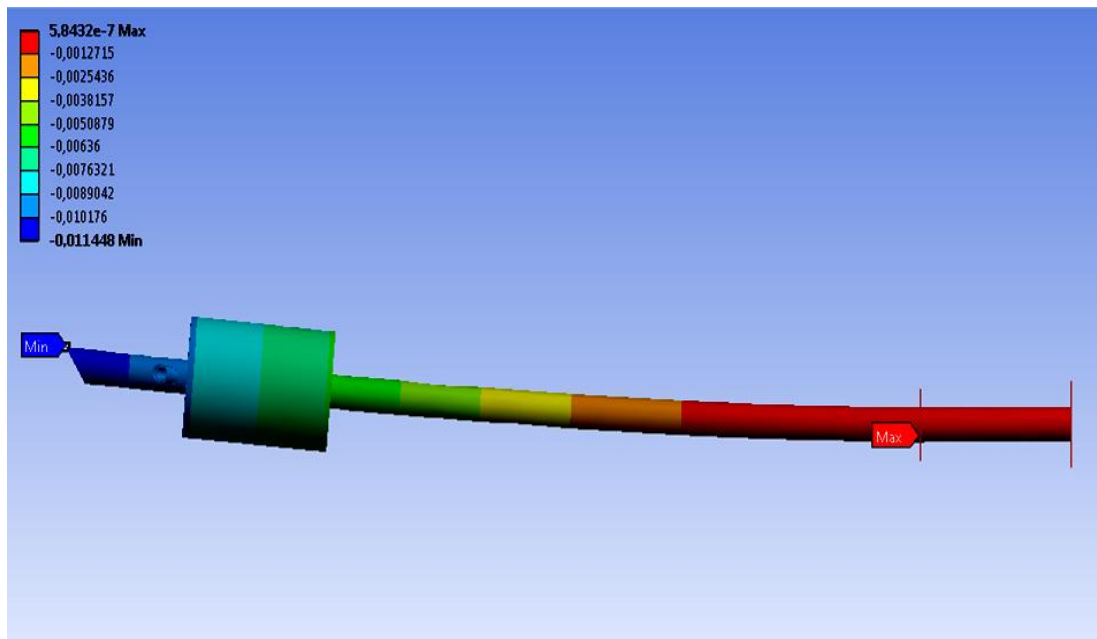


Figura 8.30: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

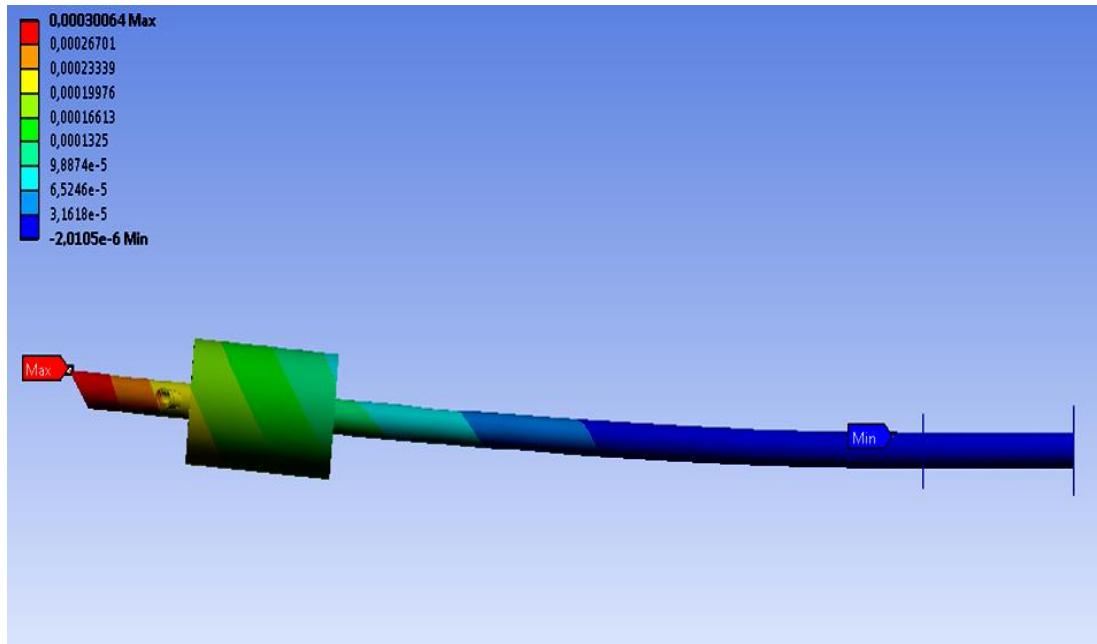


Figura 8.31: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

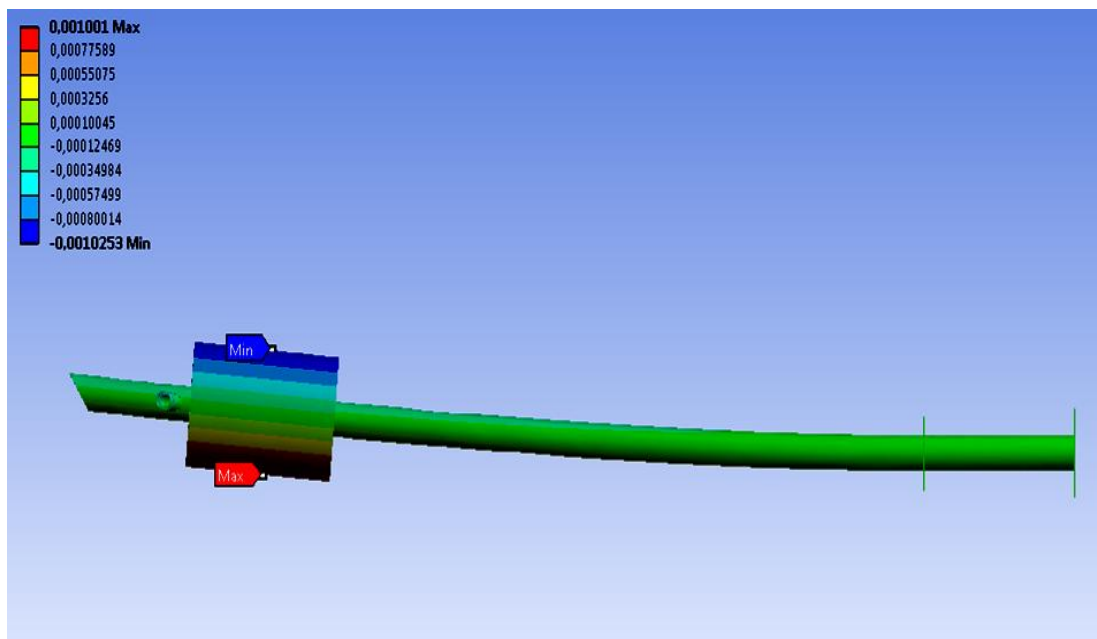


Figura 8.32: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

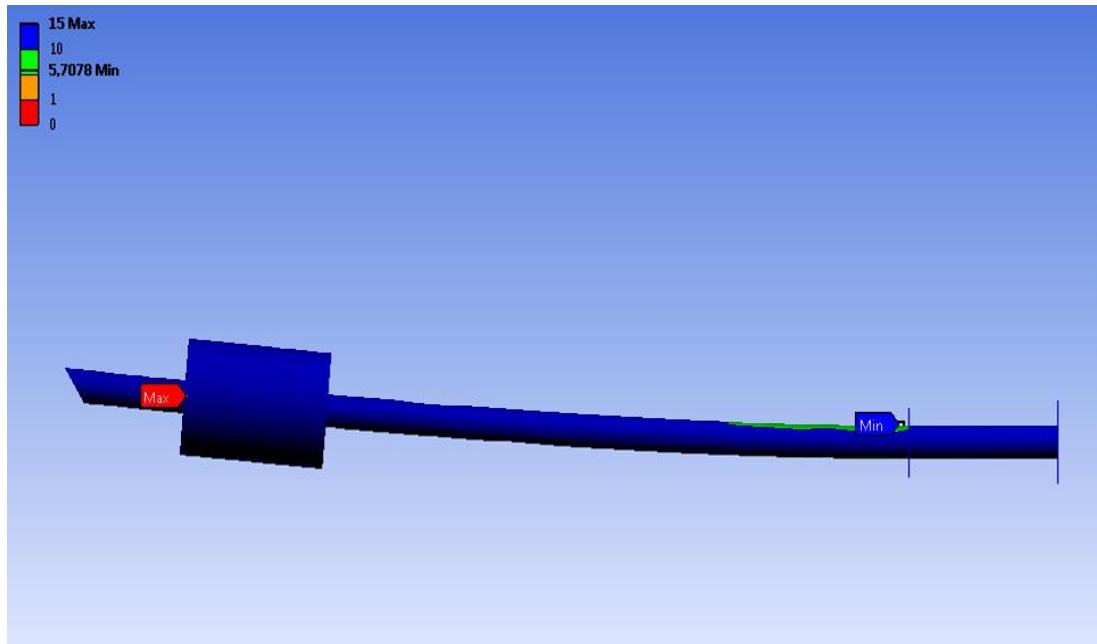


Figura 8.33: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

El punto de máxima tensión ($4,38 \cdot 10^7 \text{Pa}$), que es inferior al límite elástico del material, se localiza en la parte inferior del báculo. El punto de mínima tensión ($3,1379 \cdot 10^{-11} \text{Pa}$) se encuentra situado en la placa base debido a que ésta se encuentra cimentada.

El punto de máxima deformación total (0,011457m) se encuentra localizado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte, y el punto de mínima deformación total (0m) se encuentra en la placa base debido a que ésta está cimentada.

El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje X ($5,8432 \cdot 10^{-7} \text{m}$) está situado en la parte inferior del báculo. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Y (0,00030064m) está situado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Z (0,001001m) está situado en el lateral del habitáculo de la batería.

El factor de seguridad mínimo (5,7078) es mayor que 1,2.

8.5.1.2. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad paralela al suelo e incidente sobre la superficie libre del panel fotovoltaico para la estructura-soporte de la luminaria de 40W:

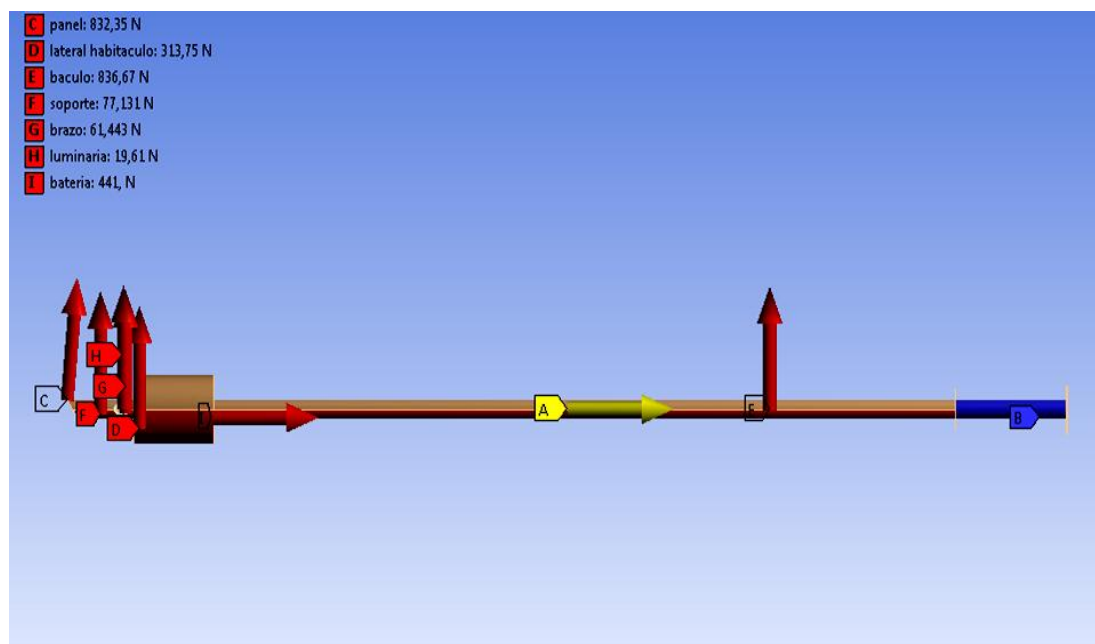


Figura 8.34: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

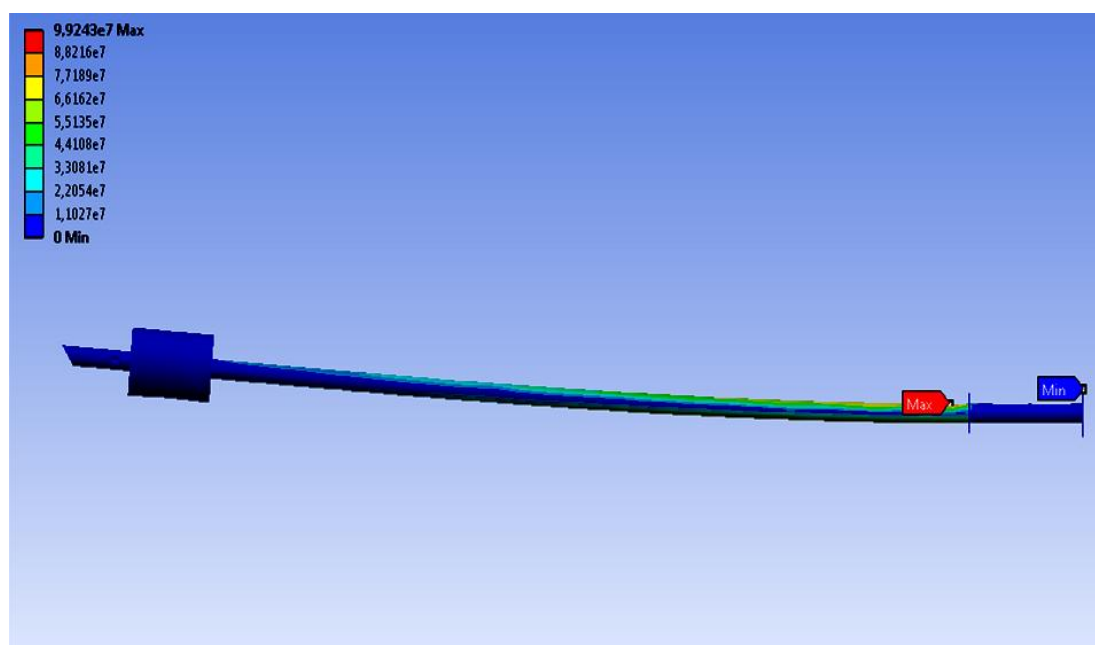


Figura 8.35: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

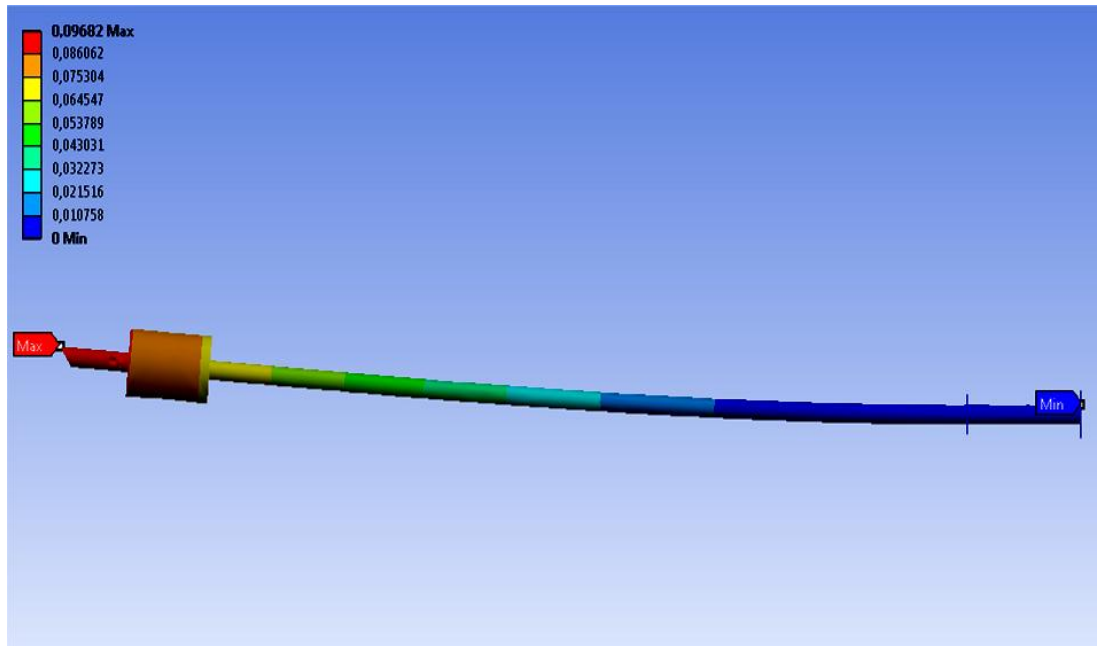


Figura 8.36: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

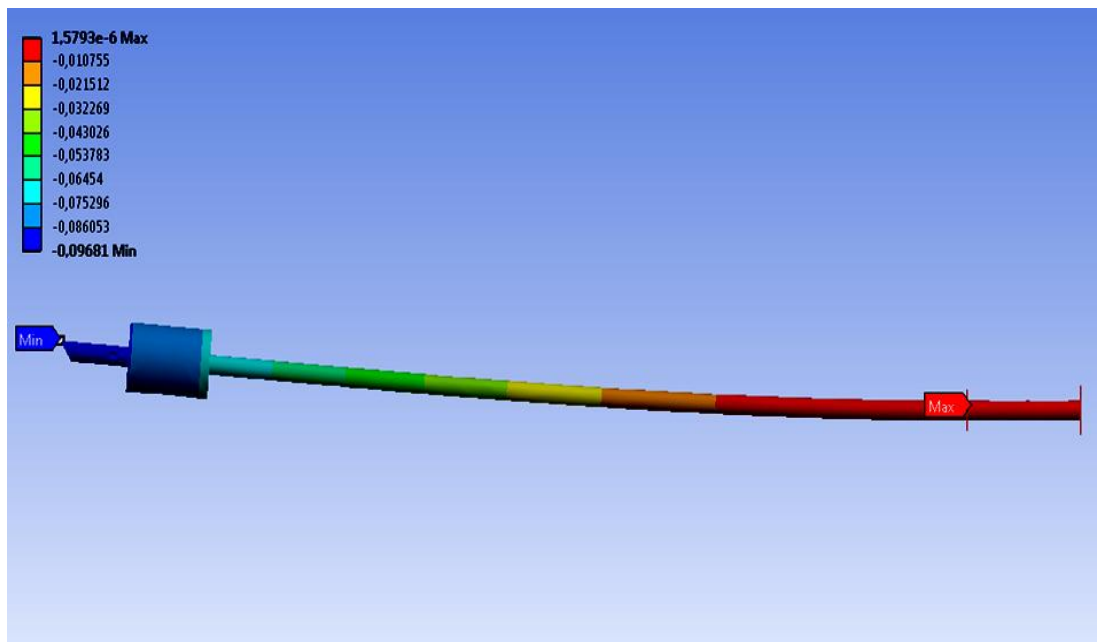


Figura 8.37: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

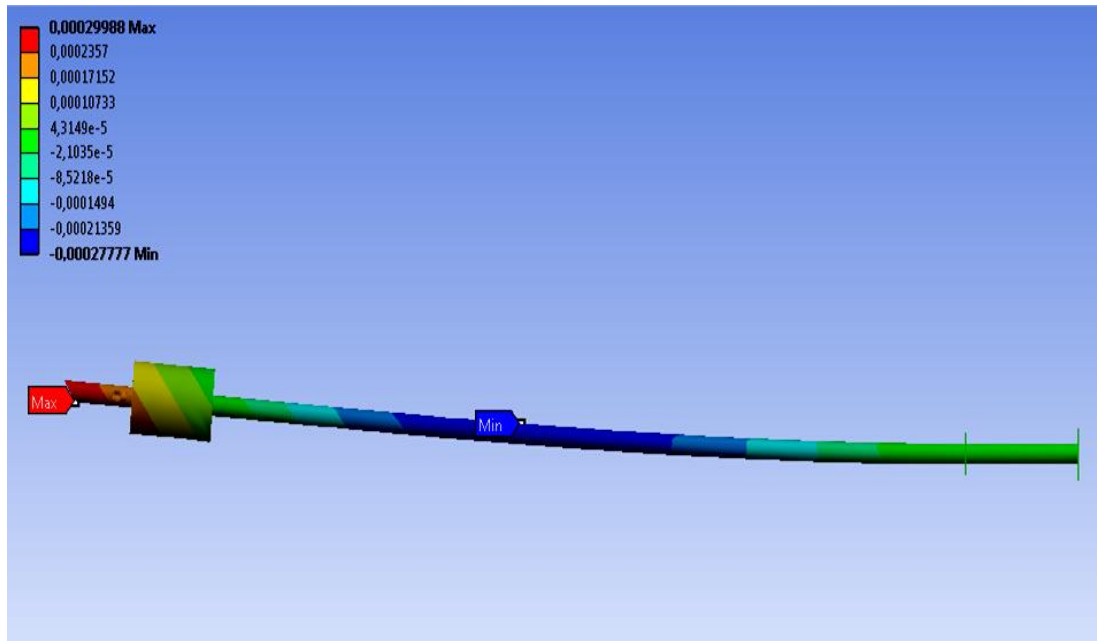


Figura 8.38: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

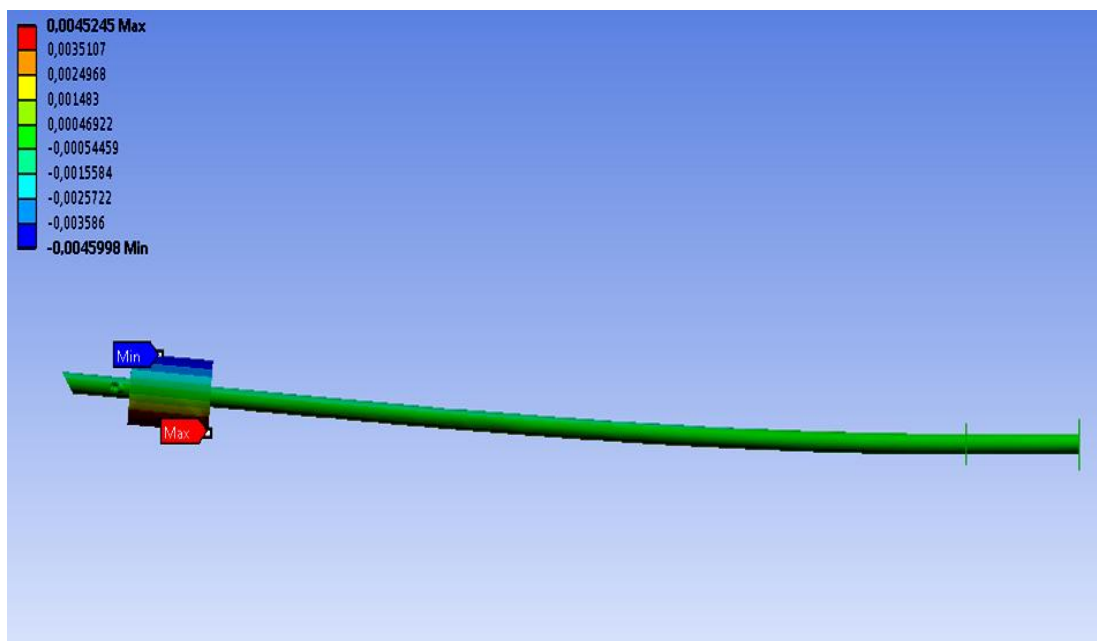


Figura 8.39: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

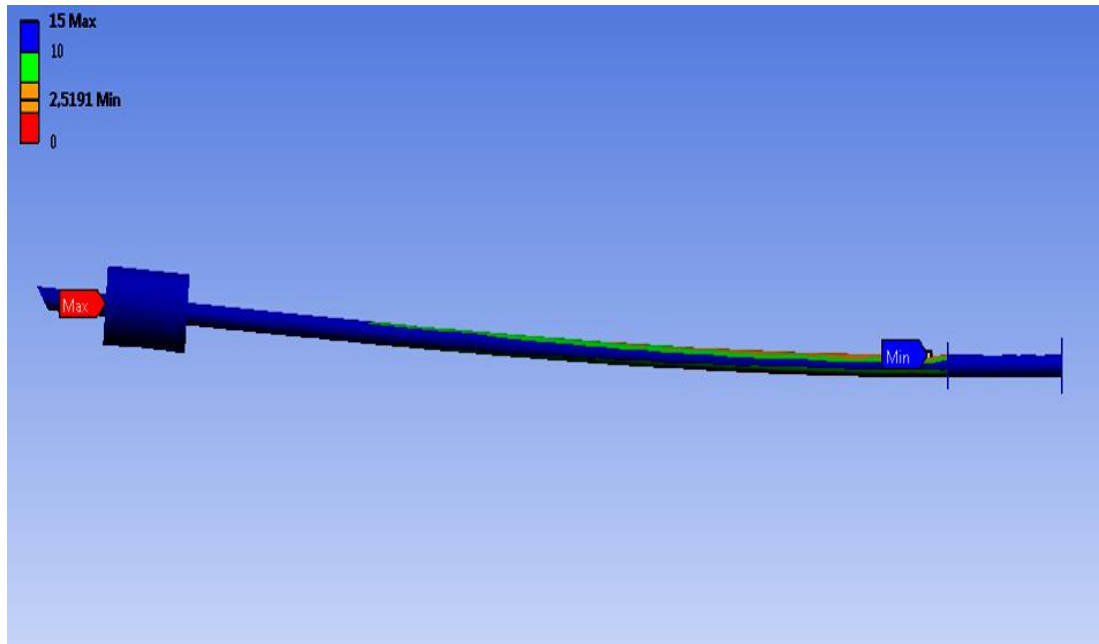


Figura 8.40: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

El punto de máxima tensión ($9,9243 \cdot 10^7 \text{ Pa}$), que es inferior al límite elástico del material, se localiza en la parte inferior del báculo. El punto de mínima tensión (0 Pa) se encuentra situado en la placa base debido a que ésta se encuentra cimentada.

El punto de máxima deformación total ($0,09682 \text{ m}$) se encuentra localizado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte, y el punto de mínima deformación total (0 m) se encuentra en la placa base debido a que ésta está cimentada.

El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje X ($1,5793 \cdot 10^{-6} \text{ m}$) está situado en la parte inferior del báculo. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Y ($0,00029988 \text{ m}$) está situado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Z ($0,0045245 \text{ m}$) está situado en el lateral del habitáculo de la batería.

El factor de seguridad mínimo (2,5191) es mayor que 1,2.

8.5.1.3. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad paralela al suelo e incidente sobre la superficie libre del panel fotovoltaico para la estructura-soporte de la luminaria de 70W:

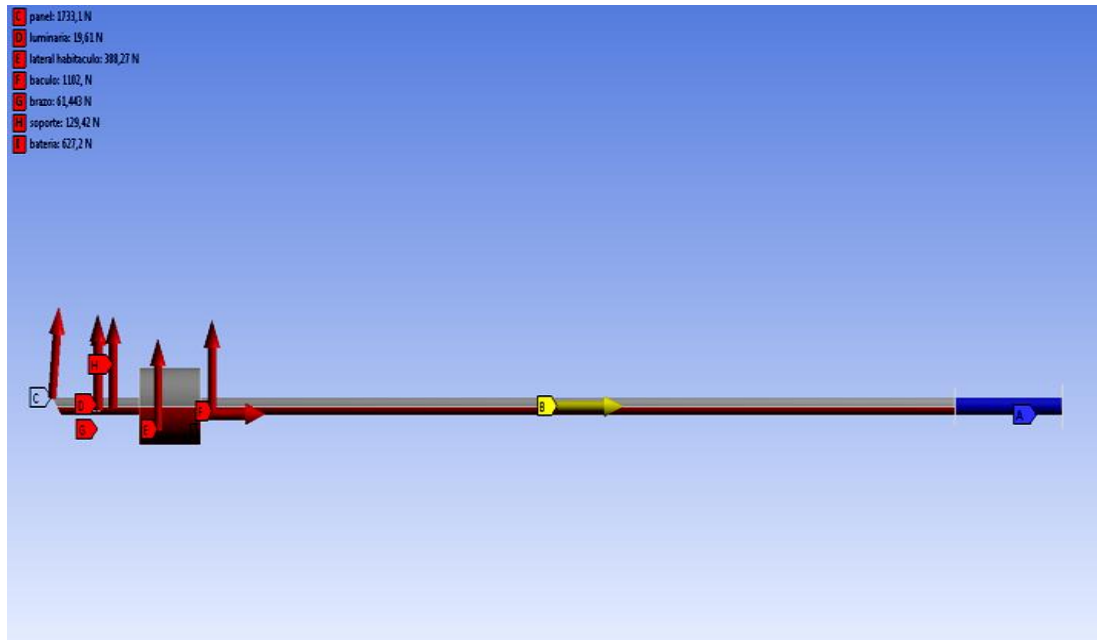


Figura 8.41: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

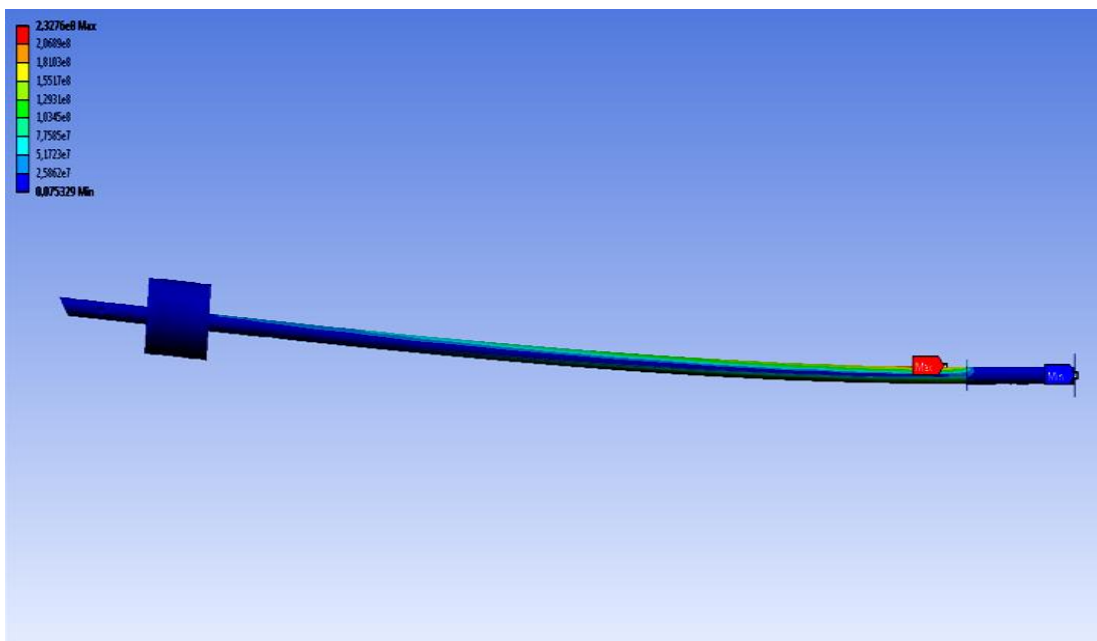


Figura 8.42: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

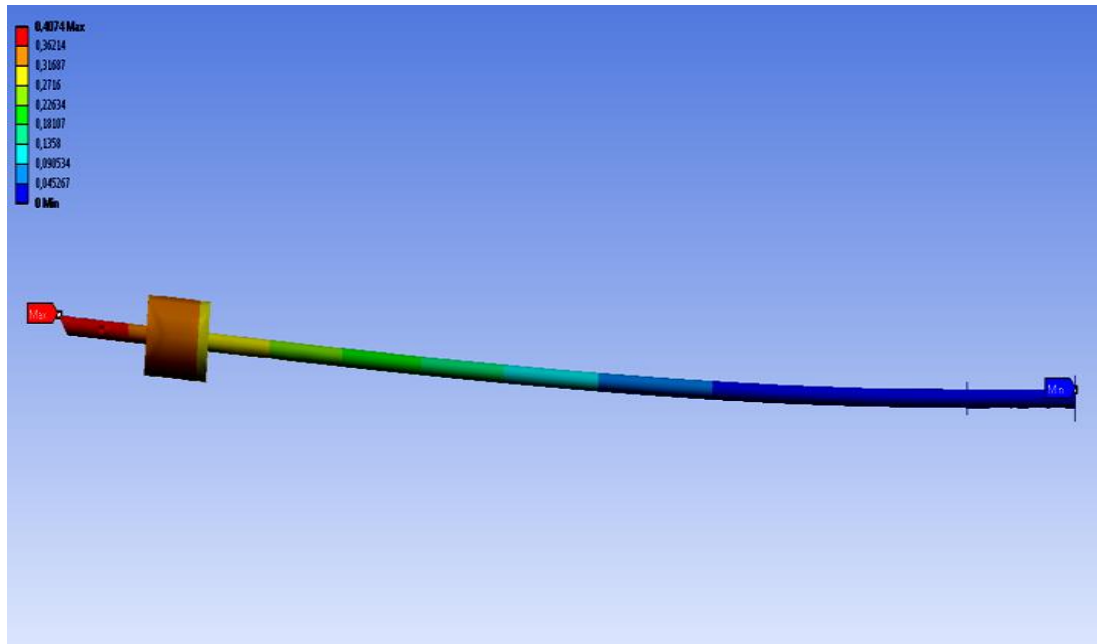


Figura 8.43: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

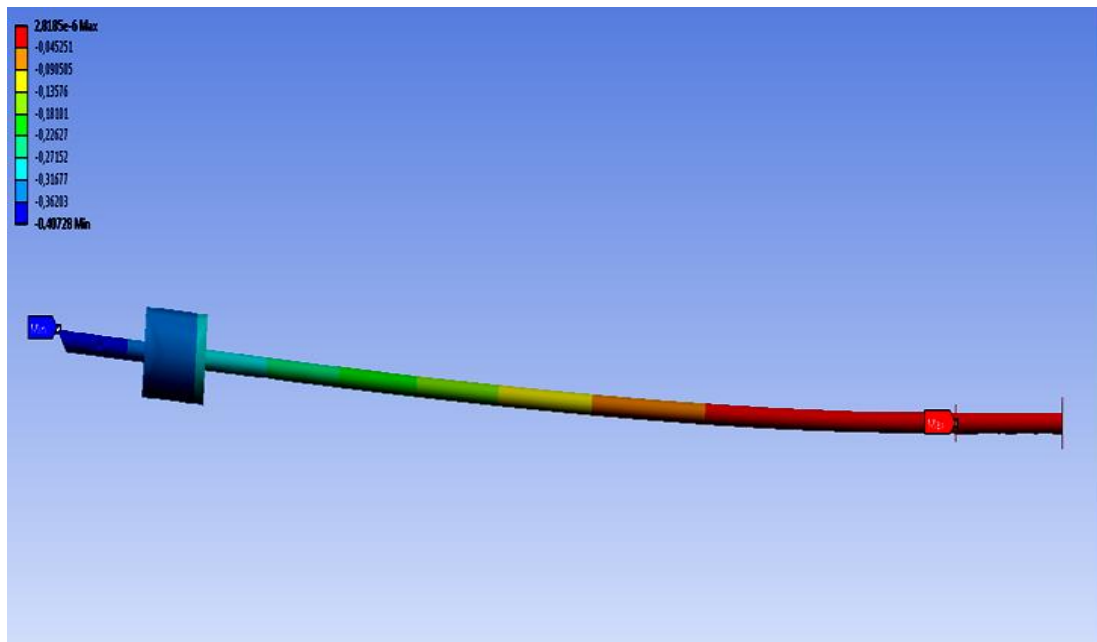


Figura 8.44: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

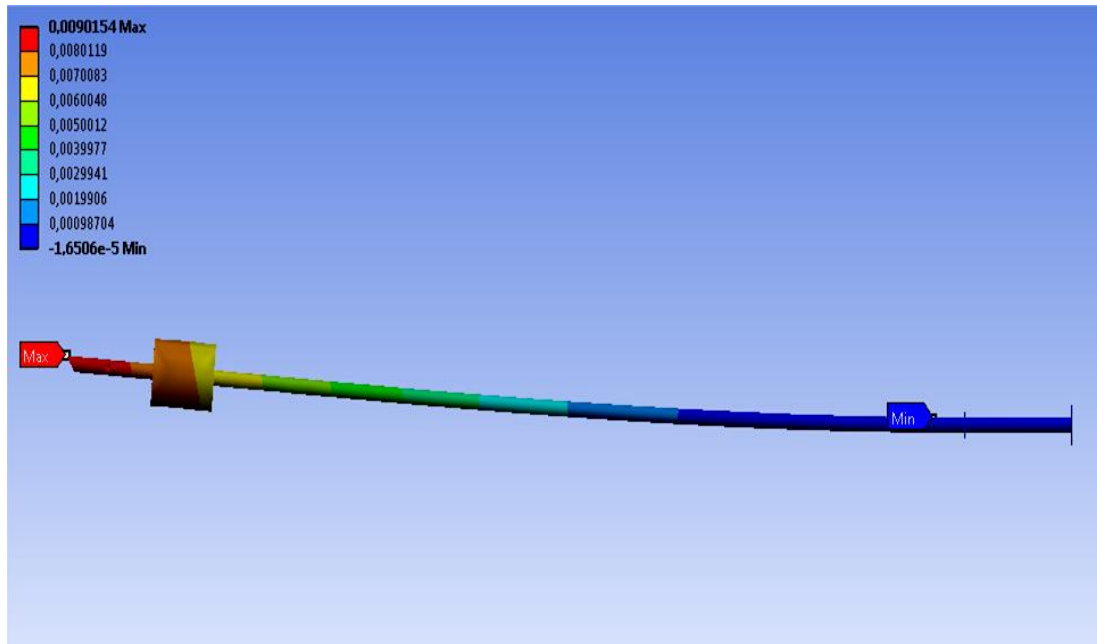


Figura 8.45: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

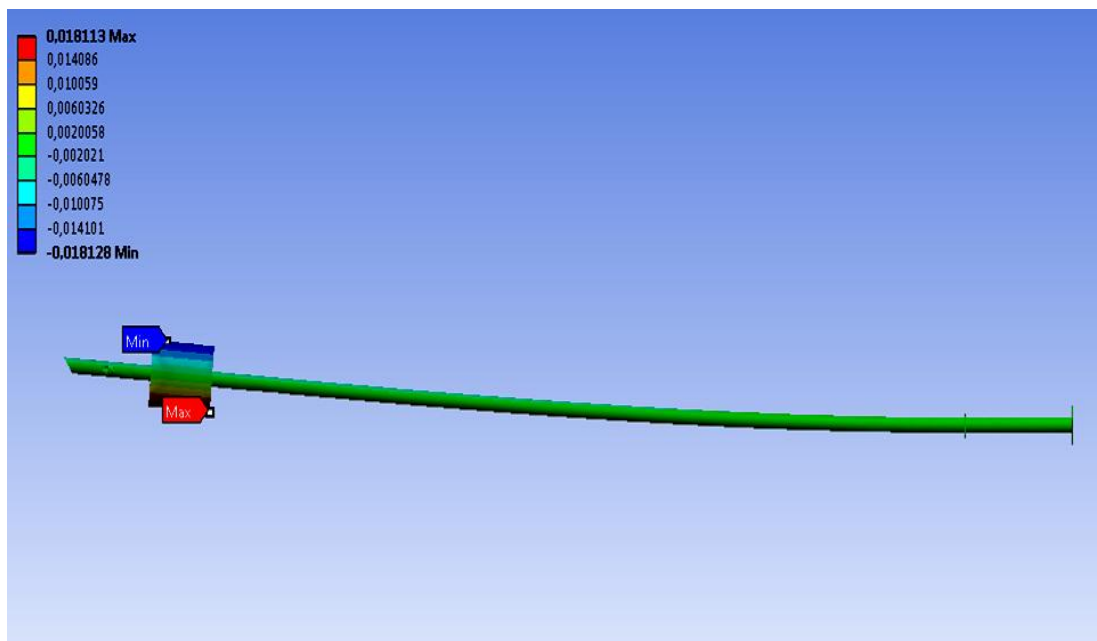


Figura 8.46: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

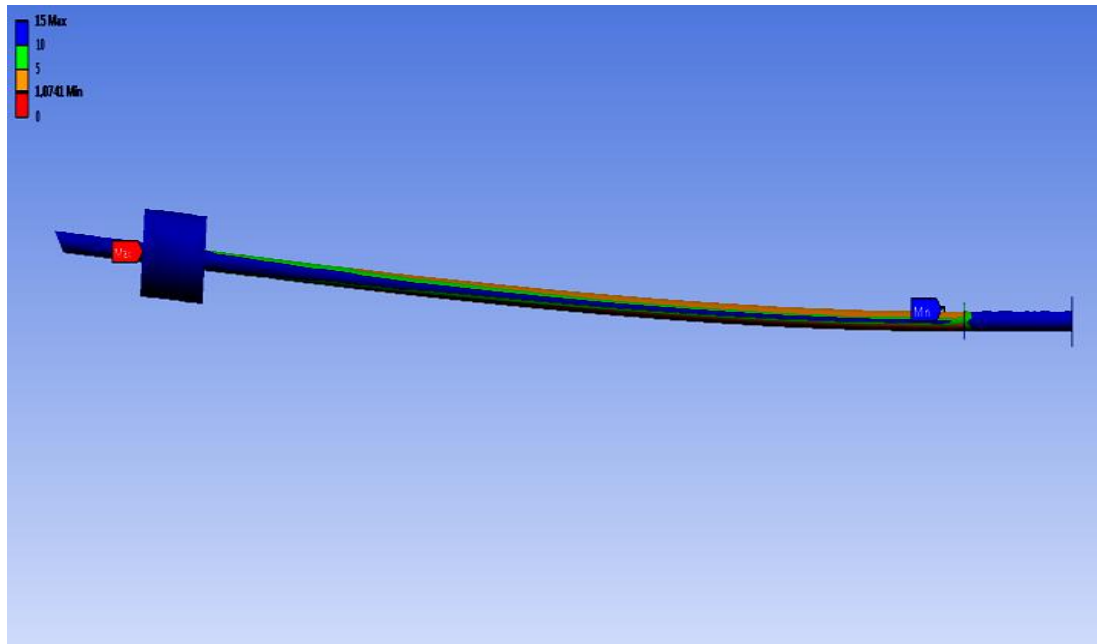


Figura 8.47: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

El punto de máxima tensión ($2,3276 \cdot 10^8 \text{Pa}$), que es inferior al límite elástico del material, se localiza en la parte inferior del báculo. El punto de mínima tensión ($0,075329 \text{Pa}$) se encuentra situado en la placa base debido a que ésta se encuentra cimentada.

El punto de máxima deformación total ($0,4074 \text{m}$) se encuentra localizado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte, y el punto de mínima deformación total (0m) se encuentra en la placa base debido a que ésta está cimentada.

El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje X ($2,8185 \cdot 10^{-6} \text{m}$) está situado en la parte inferior del báculo. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Y ($0,0090154 \text{m}$) está situado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Z ($0,018113 \text{m}$) está situado en el lateral del habitáculo de la batería.

El factor de seguridad mínimo (1,0741) es menor que 1,2.

8.5.1.4. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad paralela al suelo e incidente sobre la superficie del panel fotovoltaico que se une a la estructura-soporte de la luminaria de 30W:

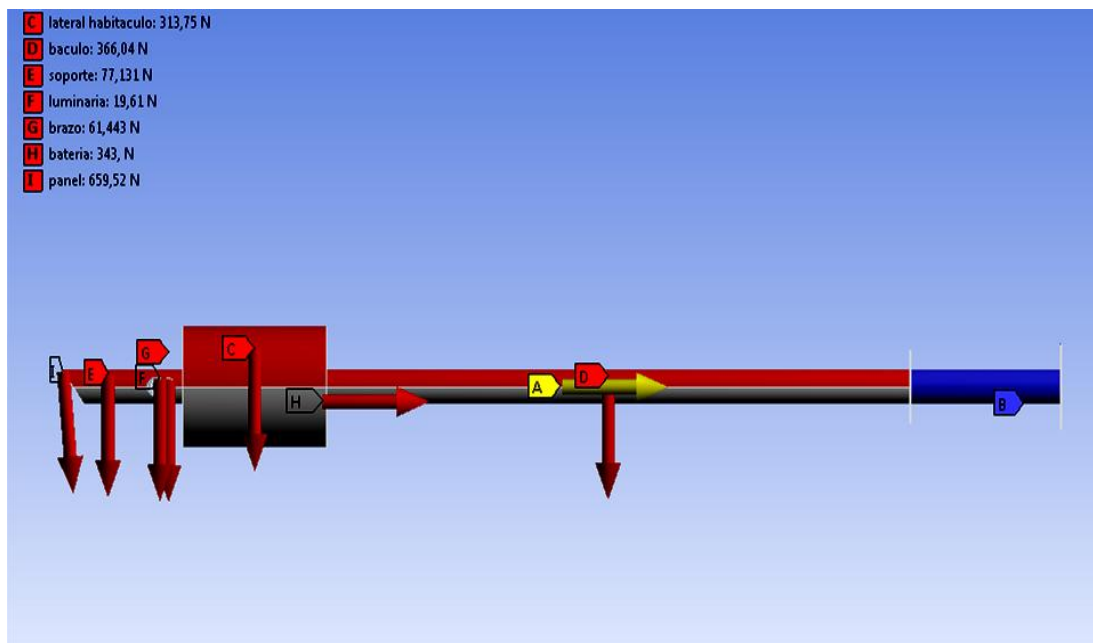


Figura 8.48: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

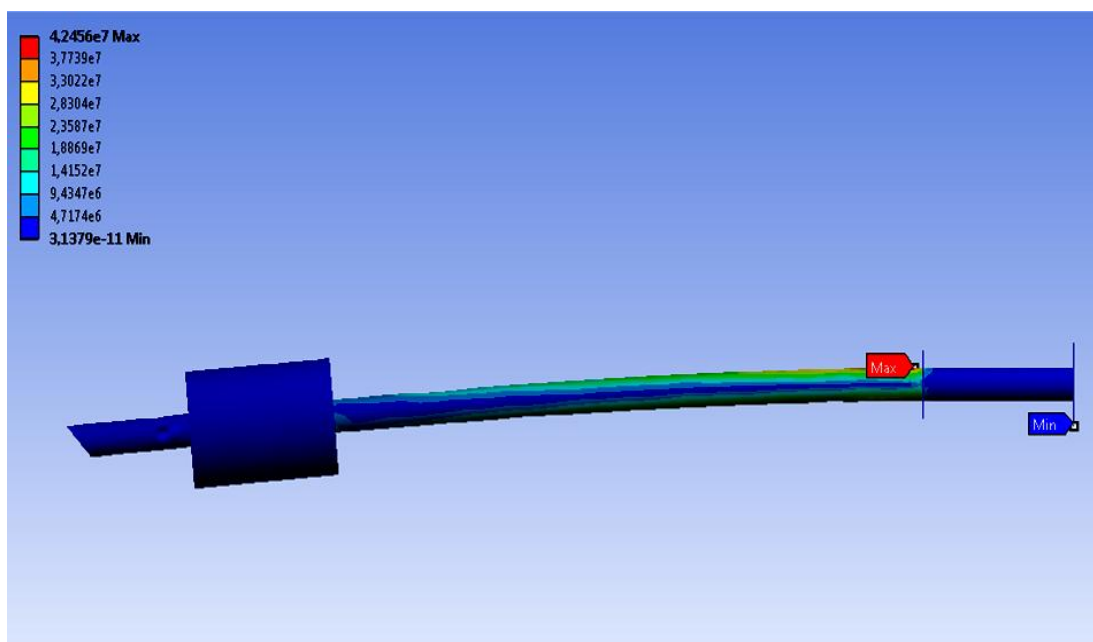


Figura 8.49: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

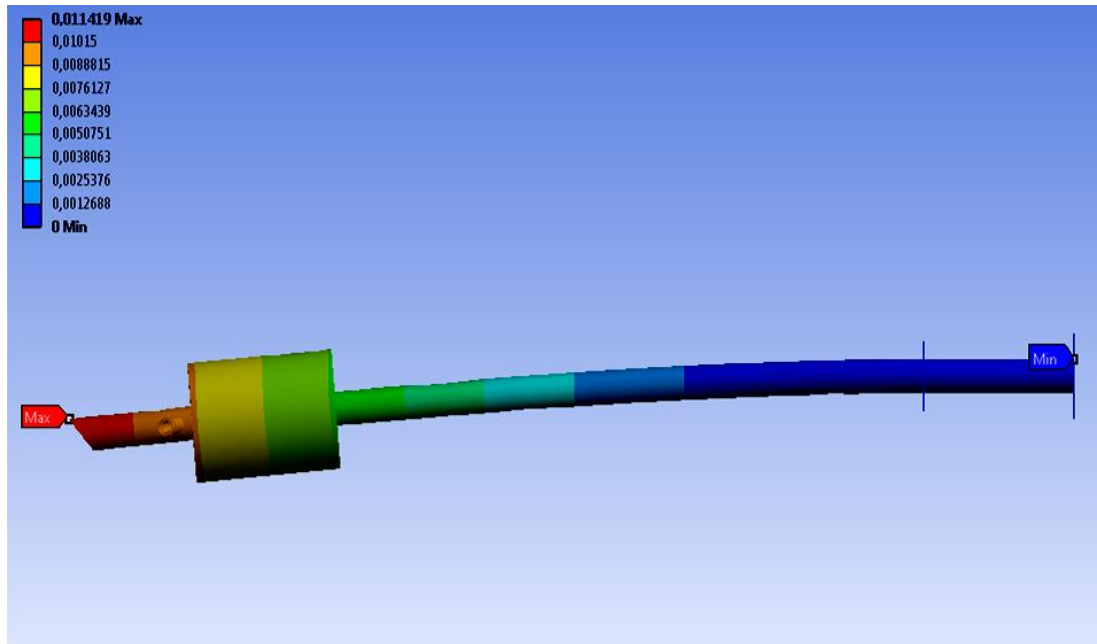


Figura 8.50: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

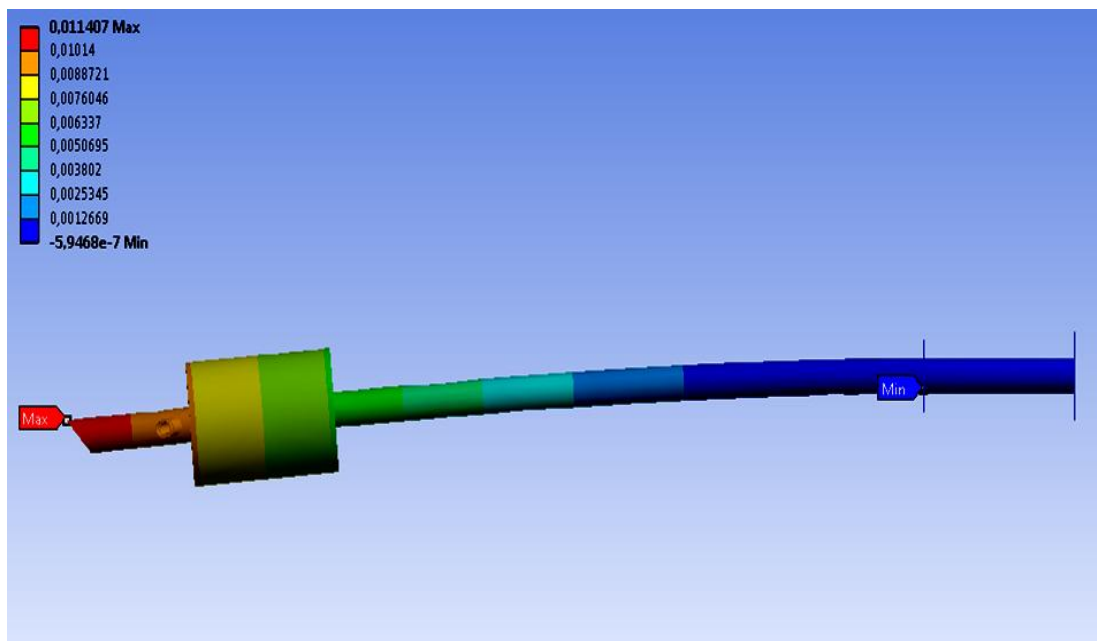


Figura 8.51: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

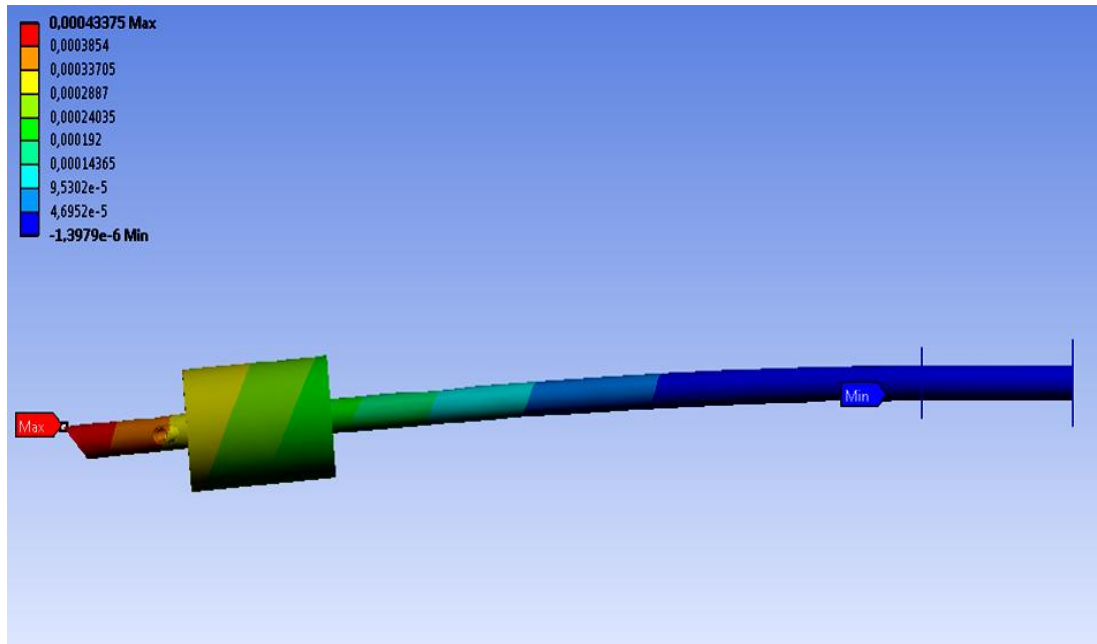


Figura 8.52: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

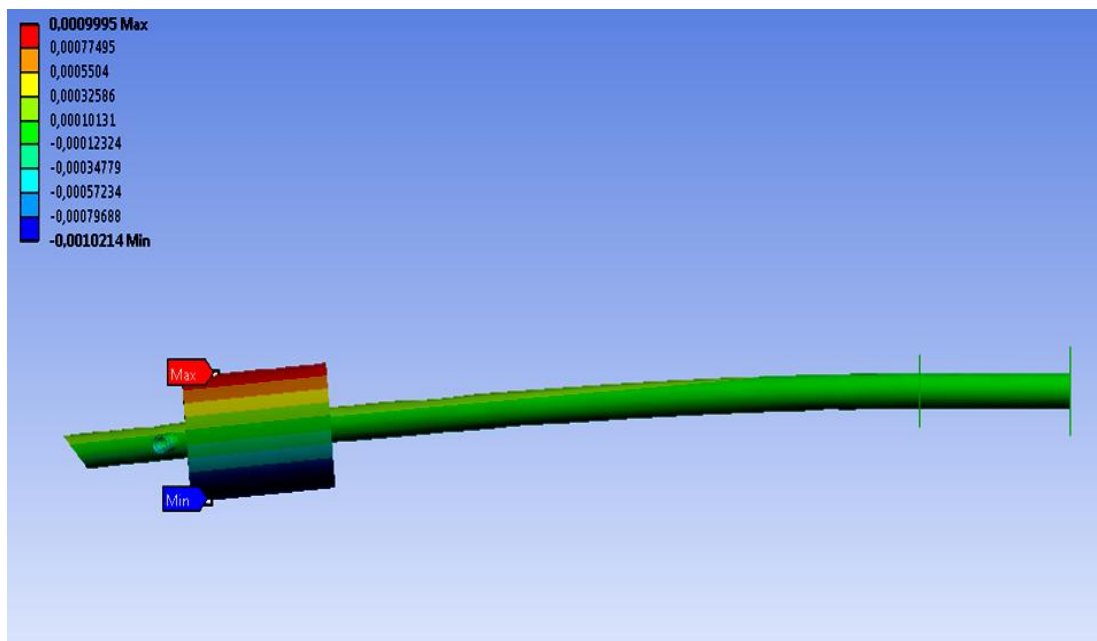


Figura 8.53: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

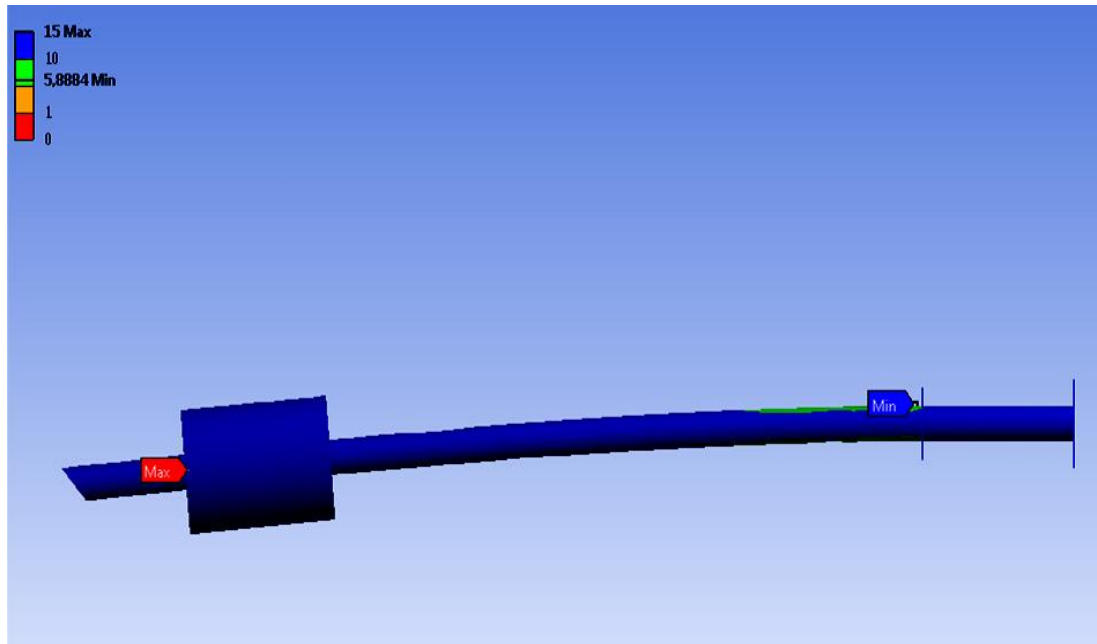


Figura 8.54: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

El punto de máxima tensión ($4,2456 \cdot 10^7 \text{ Pa}$), que es inferior al límite elástico del material, se localiza en la parte inferior del báculo. El punto de mínima tensión ($3,1379 \cdot 10^{-11} \text{ Pa}$) se encuentra situado en la placa base debido a que ésta se encuentra cimentada.

El punto de máxima deformación total ($0,011419 \text{ m}$) se encuentra localizado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte, y el punto de mínima deformación total (0 m) se encuentra en la placa base debido a que ésta está cimentada.

El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje X ($0,011407 \text{ m}$) está situado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Y ($0,00043375 \text{ m}$) está situado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Z ($0,0009995 \text{ m}$) está situado en el lateral del habitáculo de la batería.

El factor de seguridad mínimo (5,8884) es mayor que 1,2.

8.5.1.5. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad paralela al suelo e incidente sobre la superficie del panel fotovoltaico que se une a la estructura-soporte de la luminaria de 40W:

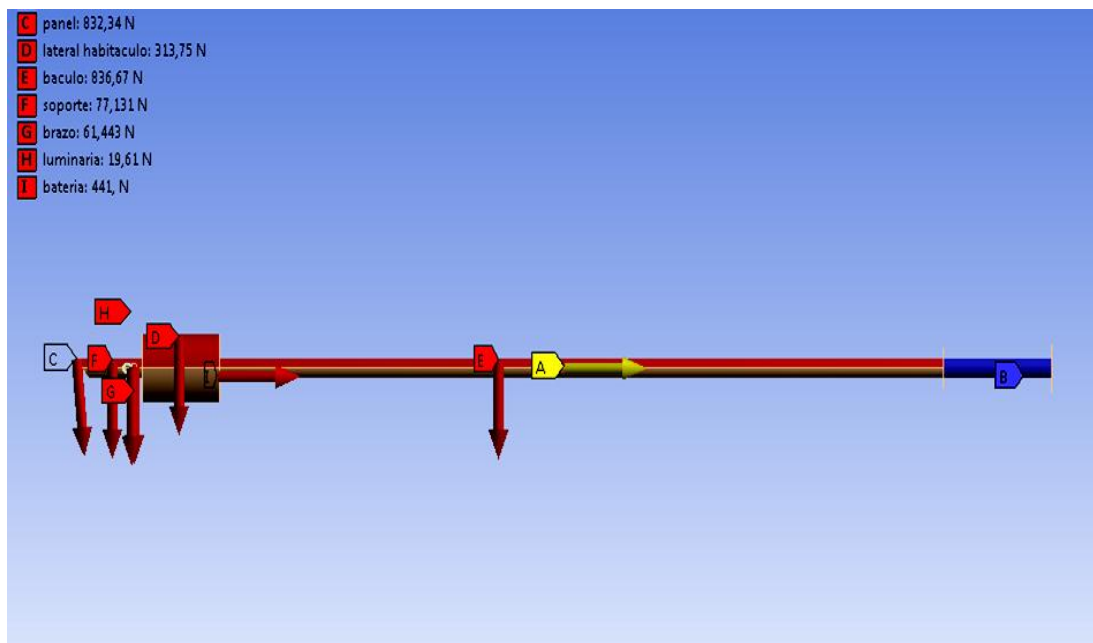


Figura 8.55: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

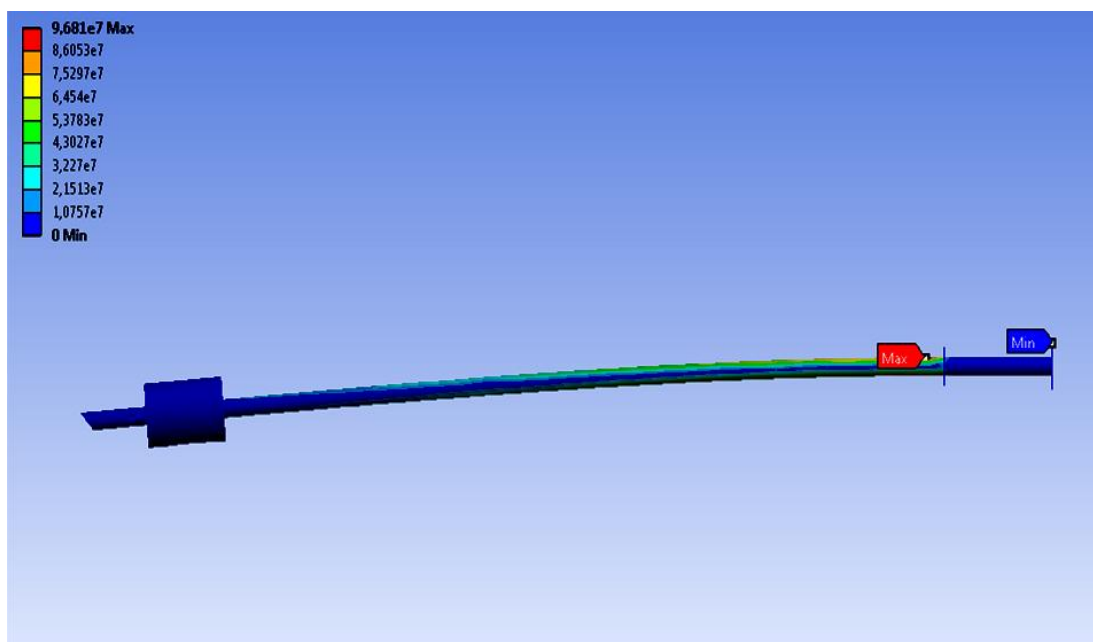


Figura 8.56: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

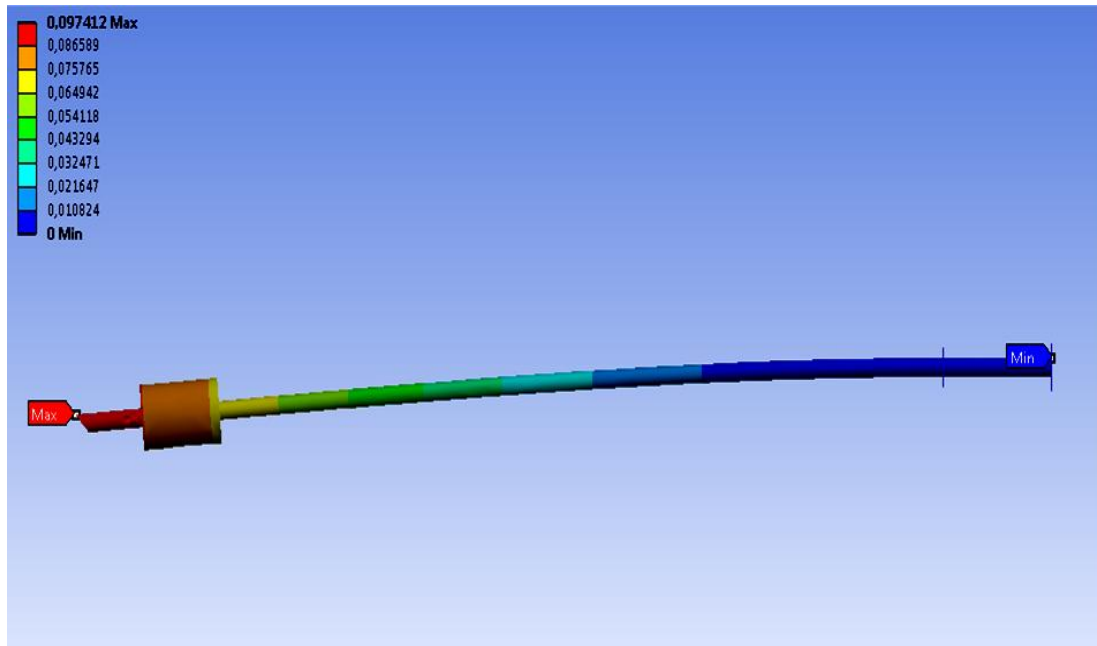


Figura 8.57: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

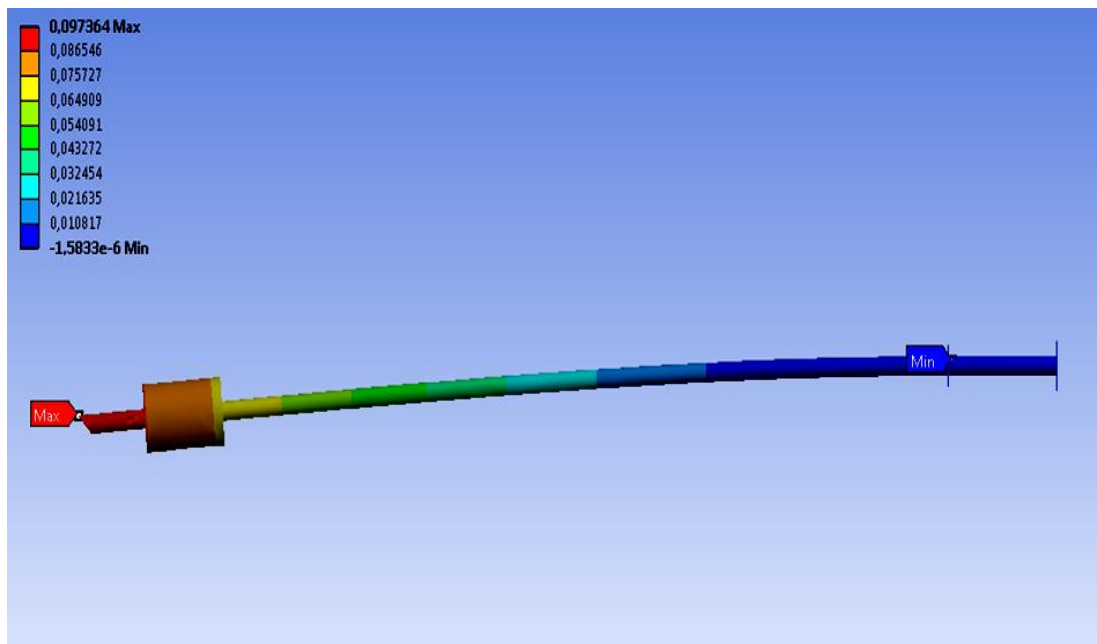


Figura 8.58: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

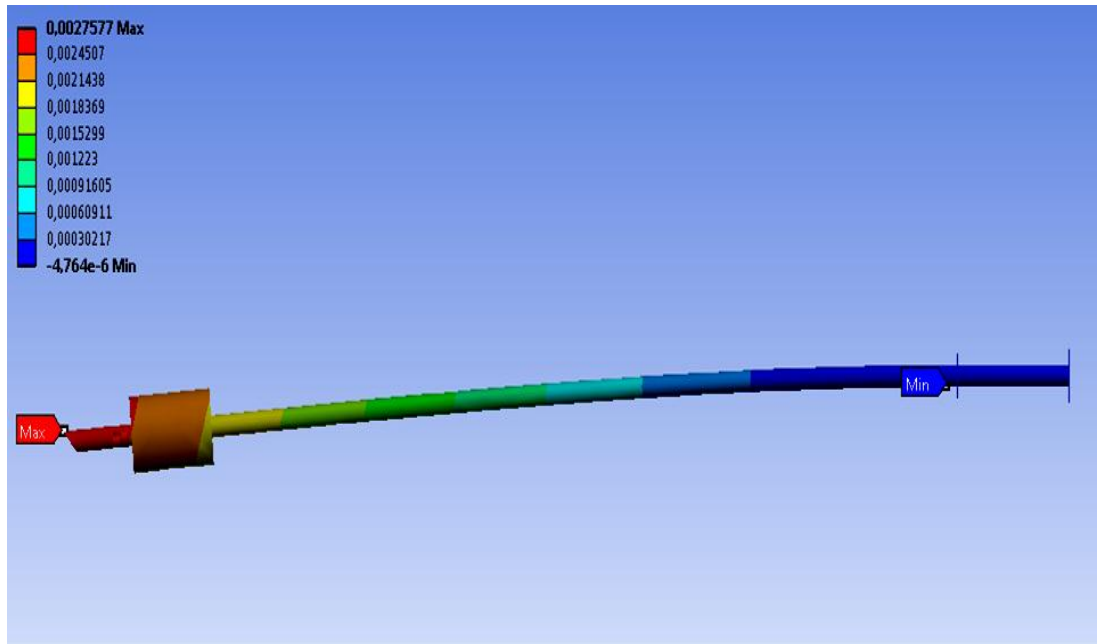


Figura 8.59: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

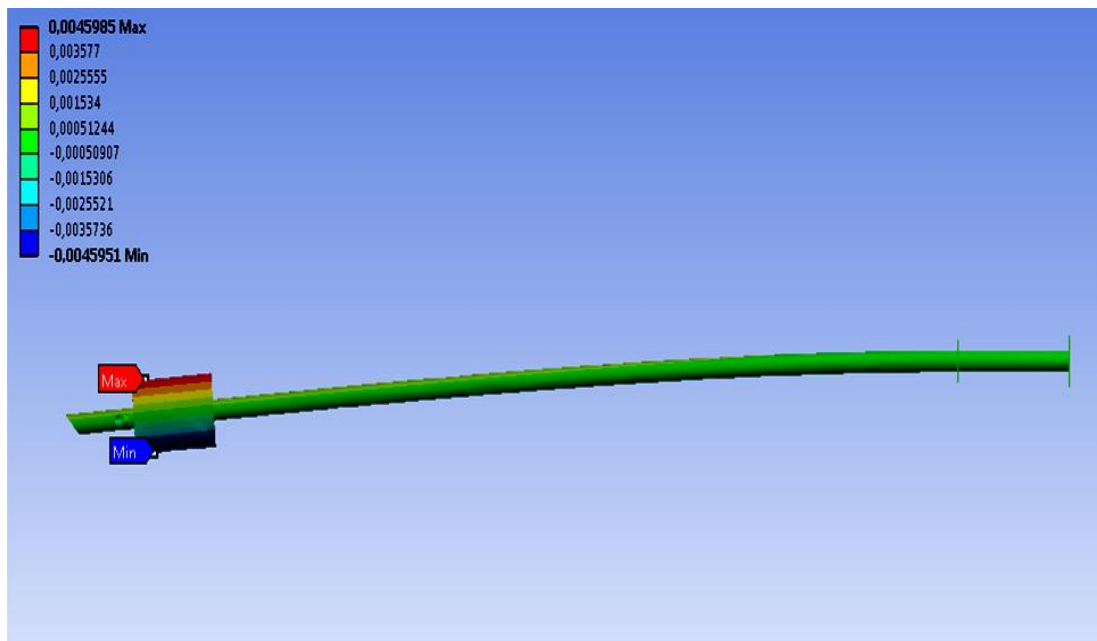


Figura 8.60: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

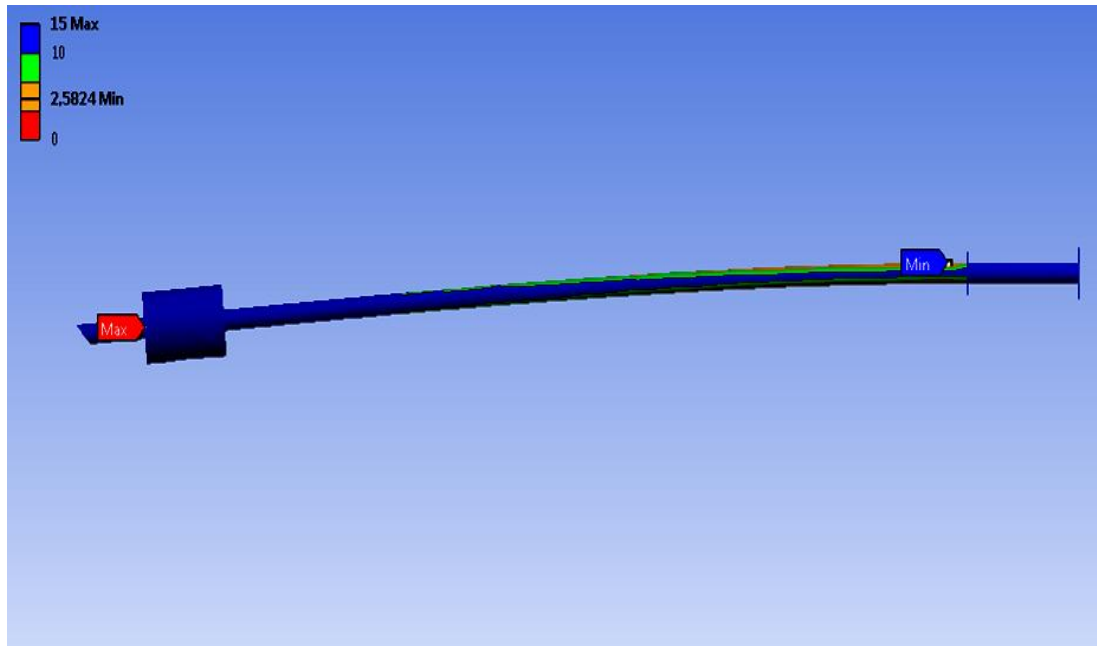


Figura 8.61: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

El punto de máxima tensión ($9,681 \cdot 10^7 \text{ Pa}$), que es inferior al límite elástico del material, se localiza en la parte inferior del báculo. El punto de mínima tensión (0 Pa) se encuentra situado en la placa base debido a que ésta se encuentra cimentada.

El punto de máxima deformación total ($0,097412 \text{ m}$) se encuentra localizado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte, y el punto de mínima deformación total (0 m) se encuentra en la placa base debido a que ésta está cimentada.

El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje X ($0,097364 \text{ m}$) está situado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Y ($0,0027577 \text{ m}$) está situado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Z ($0,0045985 \text{ m}$) está situado en el lateral del habitáculo de la batería.

El factor de seguridad mínimo ($2,5824$) es mayor que $1,2$.

8.5.1.6. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad paralela al suelo e incidente sobre la superficie del panel fotovoltaico que se une a la estructura-soporte de la luminaria de 70W:

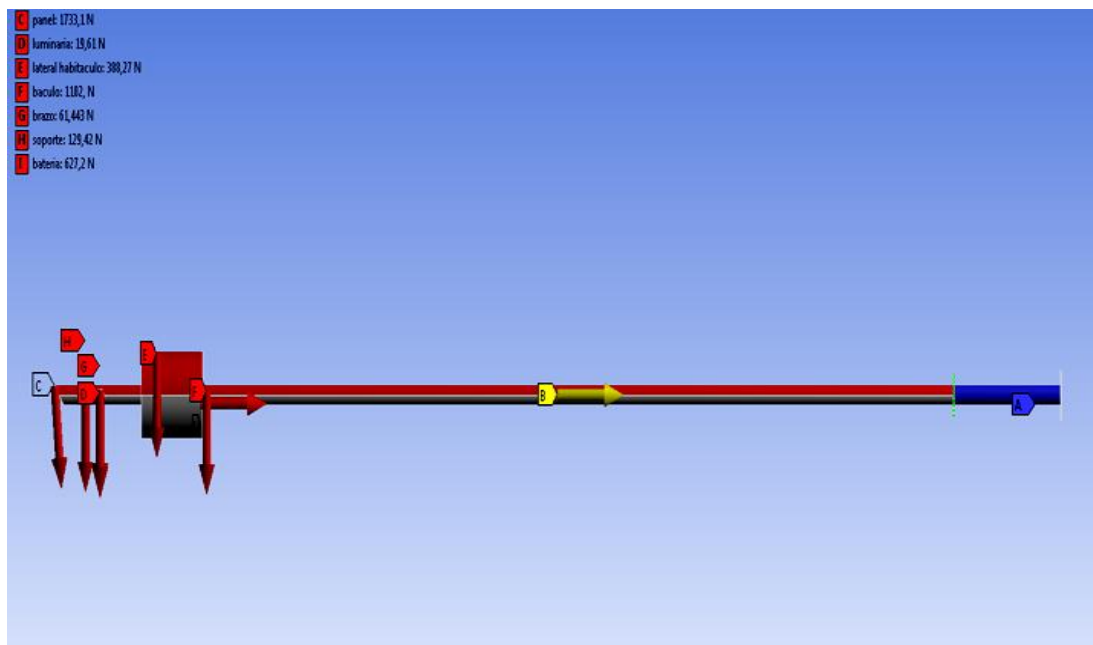


Figura 8.62: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

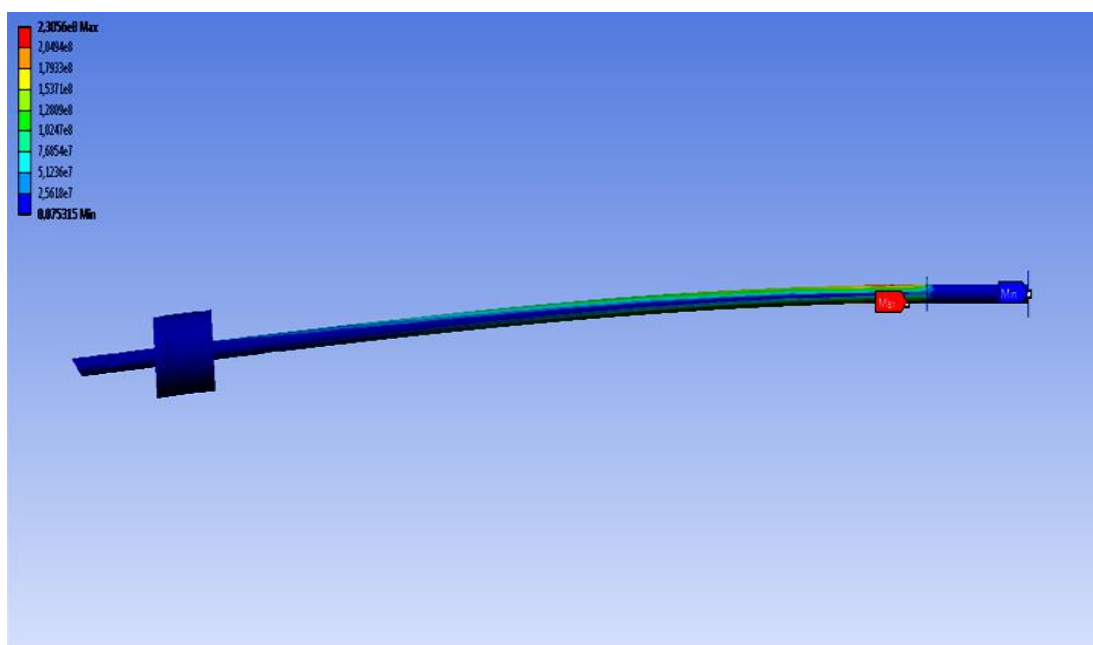


Figura 8.63: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

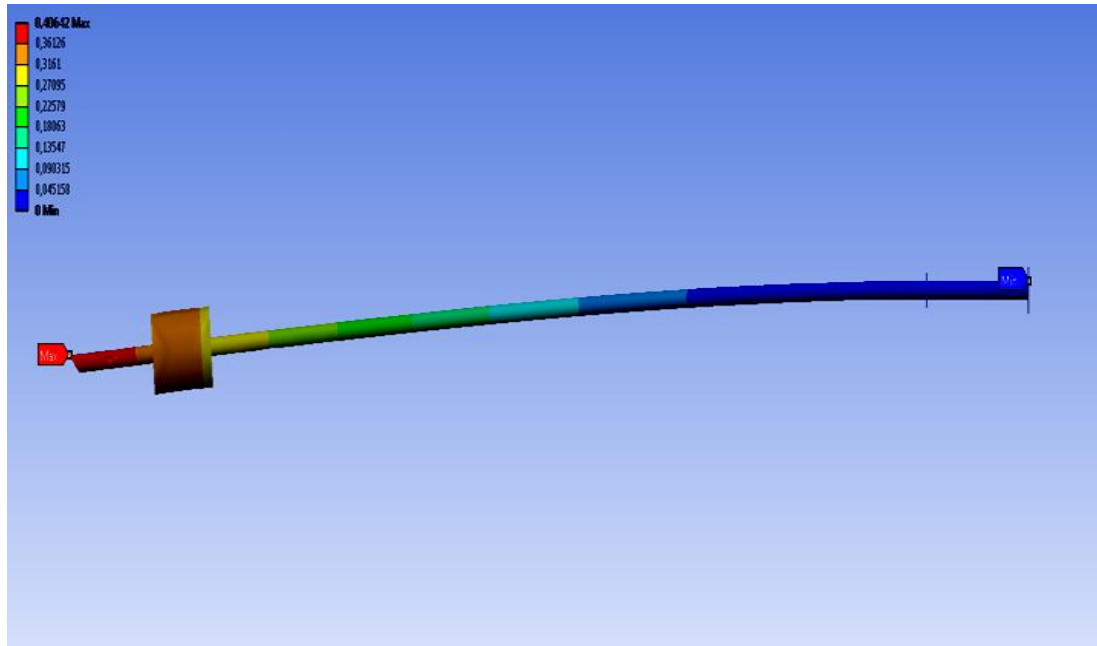


Figura 8.64: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

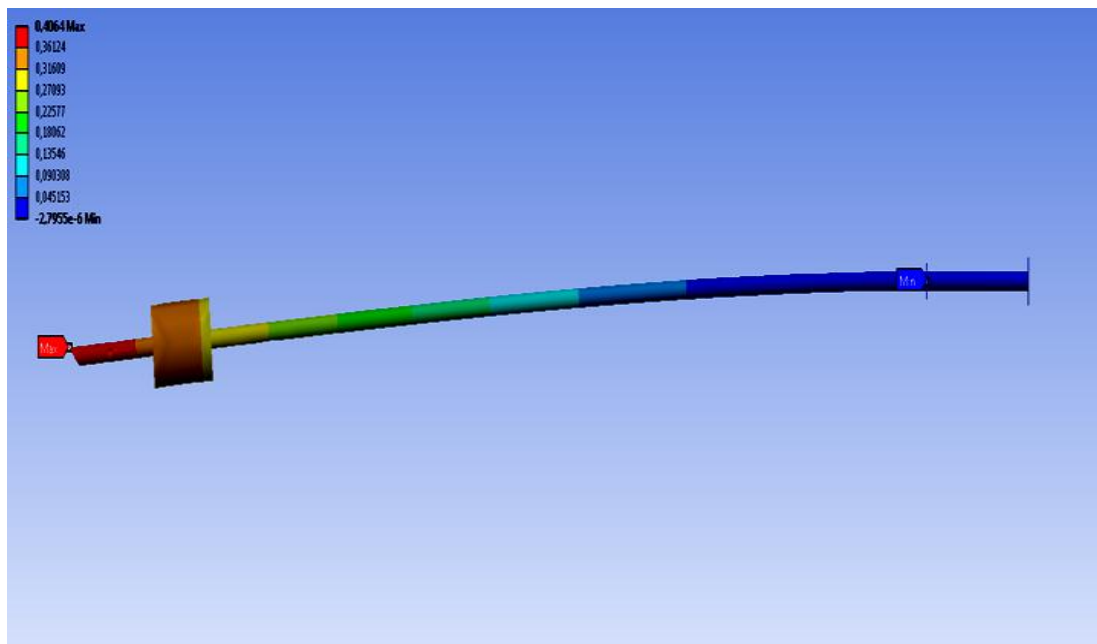


Figura 8.65: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

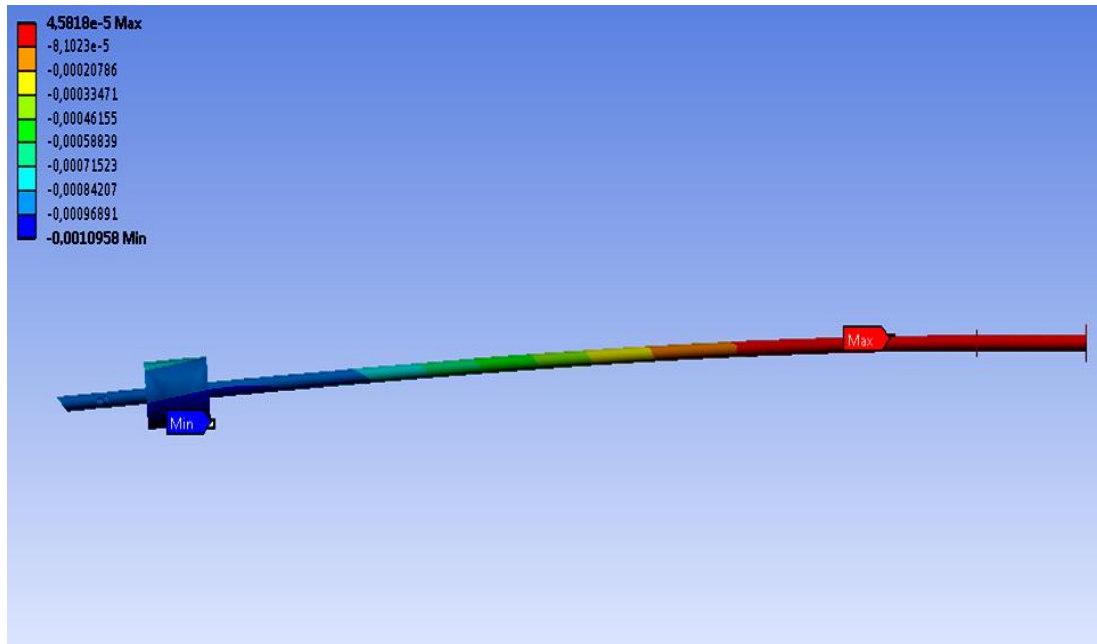


Figura 8.66: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

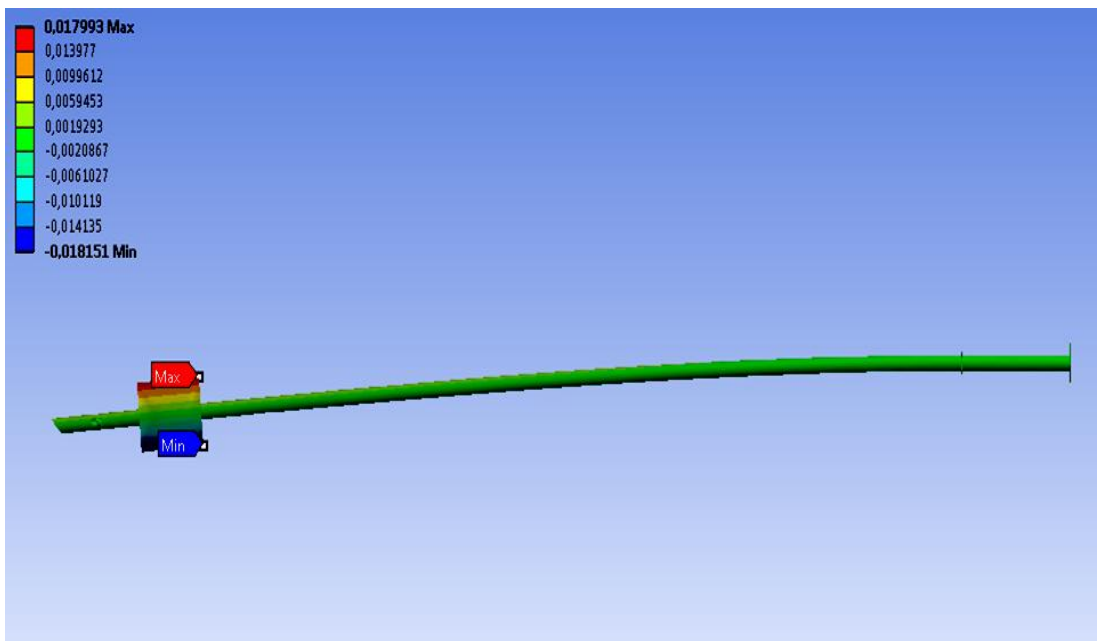


Figura 8.67: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

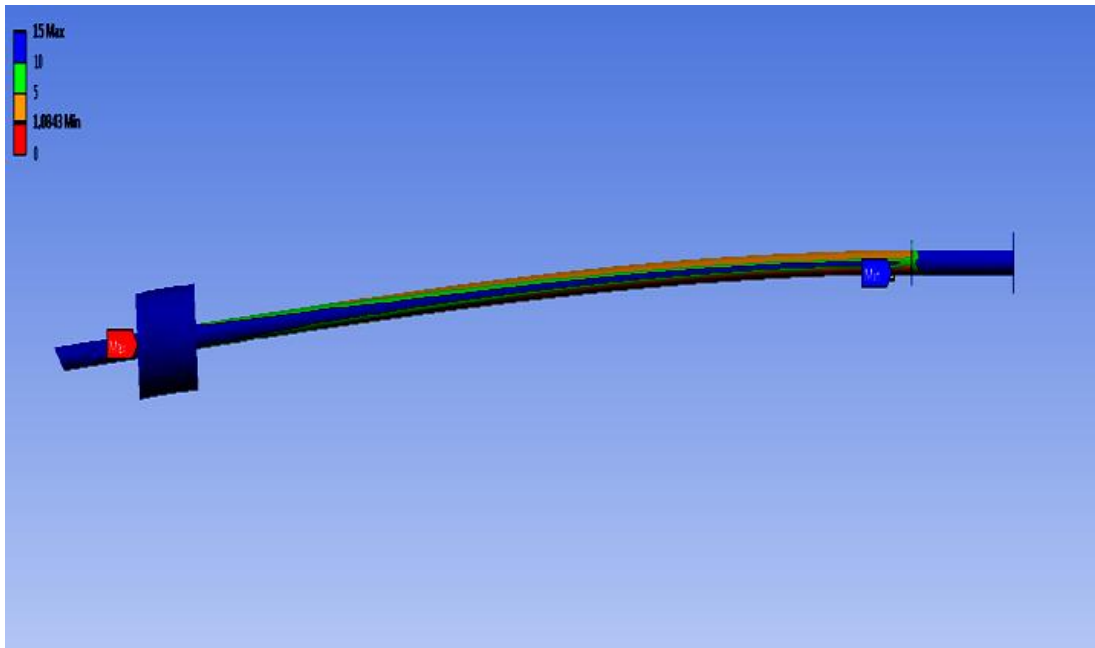


Figura 8.68: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

El punto de máxima tensión ($2,3056 \cdot 10^8 \text{Pa}$), que es inferior al límite elástico del material, se localiza en la parte inferior del báculo. El punto de mínima tensión ($0,075315 \text{Pa}$) se encuentra situado en la placa base debido a que ésta se encuentra cimentada.

El punto de máxima deformación total ($0,40642 \text{m}$) se encuentra localizado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte, y el punto de mínima deformación total (0m) se encuentra en la placa base debido a que ésta está cimentada.

El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje X ($0,4064 \text{m}$) está situado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Y ($4,5818 \cdot 10^{-5} \text{m}$) está situado en el báculo. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Z ($0,017993 \text{m}$) está situado en el lateral del habitáculo de la batería.

El factor de seguridad mínimo (1,0843) es menor que 1,2.

8.5.2. Dirección de la velocidad perpendicular al panel:

Para calcular las fuerzas aplicadas sobre las superficies que presentan resistencia al viento se tienen que calcular previamente las áreas proyectadas de dichos elementos en la dirección del viento.

Para este ensayo existen dos tipos de áreas proyectadas, una para superficies verticales y otra para superficies horizontales, que se pueden calcular mediante trigonometría (*Figura 8.69*), tal y como se muestra en la siguiente figura:

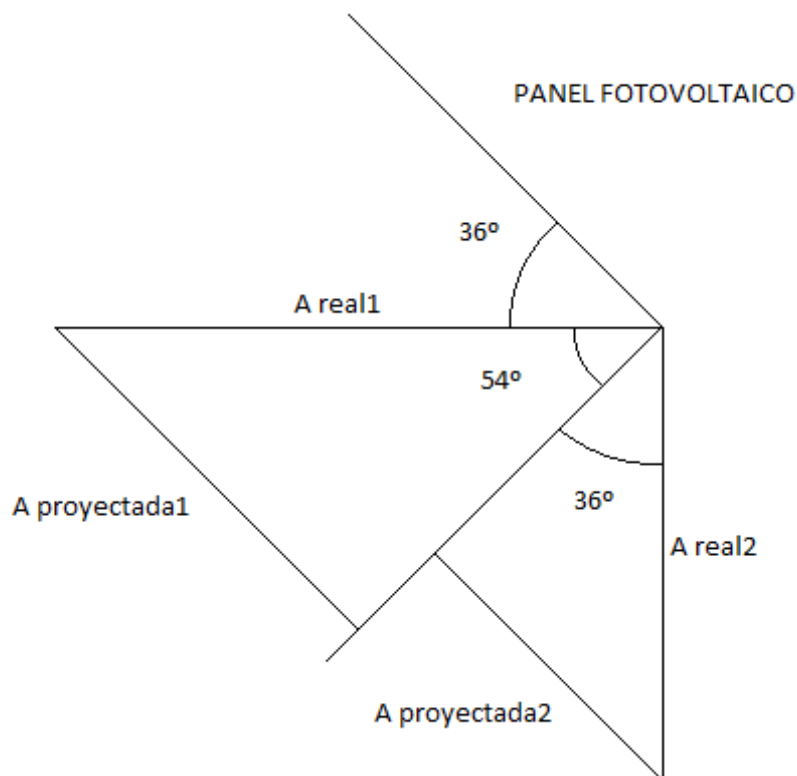


Figura 8.69: Trigonometría para calcular las áreas proyectadas de los elementos que presentan resistencia al viento.

En este ensayo las áreas proyectadas de los paneles fotovoltaicos, de los brazos de la luminaria y de las luminarias coinciden con las respectivas áreas reales de esos elementos.

Sin embargo, para el cálculo del resto de las áreas proyectadas de los elementos que presentan resistencia al viento es necesario aplicar trigonometría. Según la figura anterior se obtienen dos fórmulas:

$$A_{\text{proyectada1}} = A_{\text{real1}} \cdot \sin(54^\circ)$$

$$A_{\text{proyectada2}} = A_{\text{real2}} \cdot \sin(36^\circ)$$

Para este ensayo las áreas proyectadas por los diferentes elementos (*Tabla 8.9* y *Tabla 8.10*) son las siguientes:

Tabla 8.9: Área proyectada de los paneles fotovoltaicos.

Luminaria	Área proyectada del panel fotovoltaico
30W	0,513m ²
40W	0,648m ²
70W	1,347m ²

Tabla 8.10: Área proyectada de los elementos restantes que ofrecen resistencia al viento.

Luminaria	Elemento	Área proyectada
30W	Base habitáculo	0,113m ²
	Lateral habitáculo	0,142m ²
	Báculo	0,165m ²
	Soporte panel	0,035m ²
	Luminaria	0,015m ²
	Brazo	0,047m ²
40W	Base habitáculo	0,113m ²
	Lateral habitáculo	0,142m ²
	Báculo	0,377m ²
	Soporte panel	0,035m ²
	Luminaria	0,015m ²
	Brazo	0,047m ²
70W	Base habitáculo	0,173m ²
	Lateral habitáculo	0,175m ²
	Báculo	0,495m ²
	Soporte panel	0,059m ²
	Luminaria	0,015m ²
	Brazo	0,047m ²

Con las áreas proyectadas se pueden calcular las fuerzas aplicadas sobre la estructura-soporte (*Tabla 8.11* y *Tabla 8.12*):

Tabla 8.11: Carga sobre los paneles fotovoltaicos.

Luminaria	Carga sobre el panel fotovoltaico
30W	1117,114N
40W	1409,775N
70W	2933,171N

Tabla 8.12: Carga sobre los elementos restantes que presentan resistencia al viento.

Luminaria	Elemento	Carga viento
30W	Base habitáculo	246,207N
	Lateral habitáculo	185,636N
	Báculo	215,704N
	Soporte panel	45,756N
	Luminaria	19,610N
	Brazo	61,443N
40W	Base habitáculo	246,207N
	Lateral habitáculo	185,636N
	Báculo	492,850N
	Soporte panel	45,756N
	Luminaria	19,610N
	Brazo	61,443N
70W	Base habitáculo	376,936N
	Lateral habitáculo	228,777N
	Báculo	647,110N
	Soporte panel	77,131N
	Luminaria	19,610N
	Brazo	61,443N

Como en el módulo Workbench de Ansys se pueden emplear las componentes de las fuerzas según los ejes globales que se han utilizado en el diseño previo, se proceden a calcular dichas componentes mediante trigonometría (*Figura 8.70*):

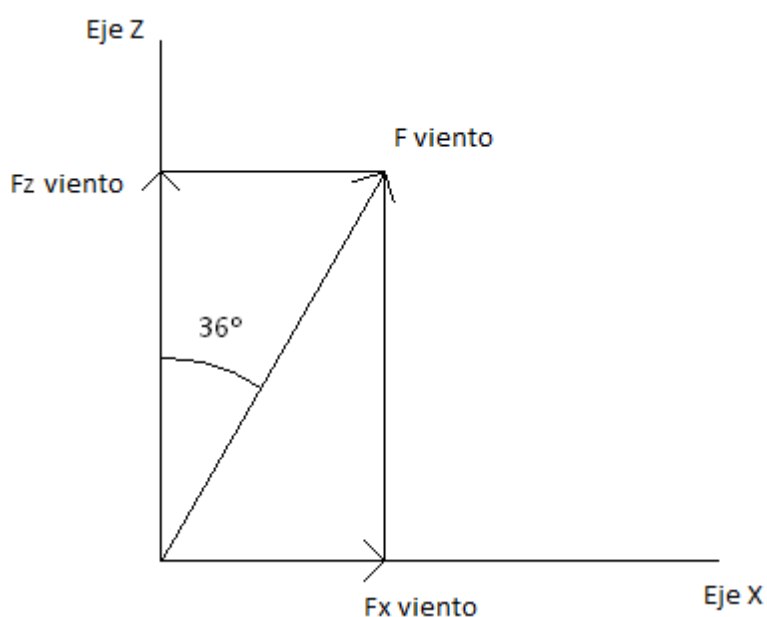


Figura 8.70: Esquema trigonométrico para descomponer la fuerza del viento.

Se obtienen así dos fórmulas, una para cada una de las dos componentes de la fuerza del viento que no son nulas:

$$F_{zviento} = F_{viento} \cdot \cos(36^\circ)$$

$$F_{xviento} = F_{viento} \cdot \sin(36^\circ)$$

Sustituyendo en dichas fórmulas se obtienen las componentes de las fuerzas previamente calculadas (*Tabla 8.13 y Tabla 8.14*):

Tabla 8.13: Componentes de la carga sobre los paneles fotovoltaicos.

Luminaria	Componente	Valor
30W	X	656,624N
	Z	903,765N
40W	X	828,645N
	Z	1140,532N
70W	X	1724,075N
	Z	2372,986N

Tabla 8.14: Componentes de la carga sobre los elementos restantes que presentan resistencia al viento.

Luminaria	Elemento	Componente	Valor
30W	Base habitáculo	X	144,717N
		Z	199,186N
	Lateral habitáculo	X	109,115N
		Z	150,182N
	Báculo	X	126,788N
		Z	174,509N
	Soporte panel	X	26,895N
		Z	37,018N
	Luminaria	X	11,527N
		Z	15,865N
40W	Base habitáculo	X	144,717N
		Z	199,186N
	Lateral habitáculo	X	109,115N
		Z	150,182N
	Báculo	X	289,690N
		Z	398,725N
	Soporte panel	X	26,895N
		Z	37,018N
	Luminaria	X	6,916N
		Z	9,519N
70W	Base habitáculo	X	221,558N
		Z	304,948N
	Lateral habitáculo	X	134,472N
		Z	185,085N
	Báculo	X	380,362N
		Z	523,523N
	Soporte panel	X	45,336N
		Z	62,401N
	Luminaria	X	6,916N
		Z	9,519N
	Brazo	X	36,116N
		Z	49,709N

8.5.2.1. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad perpendicular al panel e incidente sobre la superficie libre del panel fotovoltaico para la estructura-soporte de la luminaria de 30W:

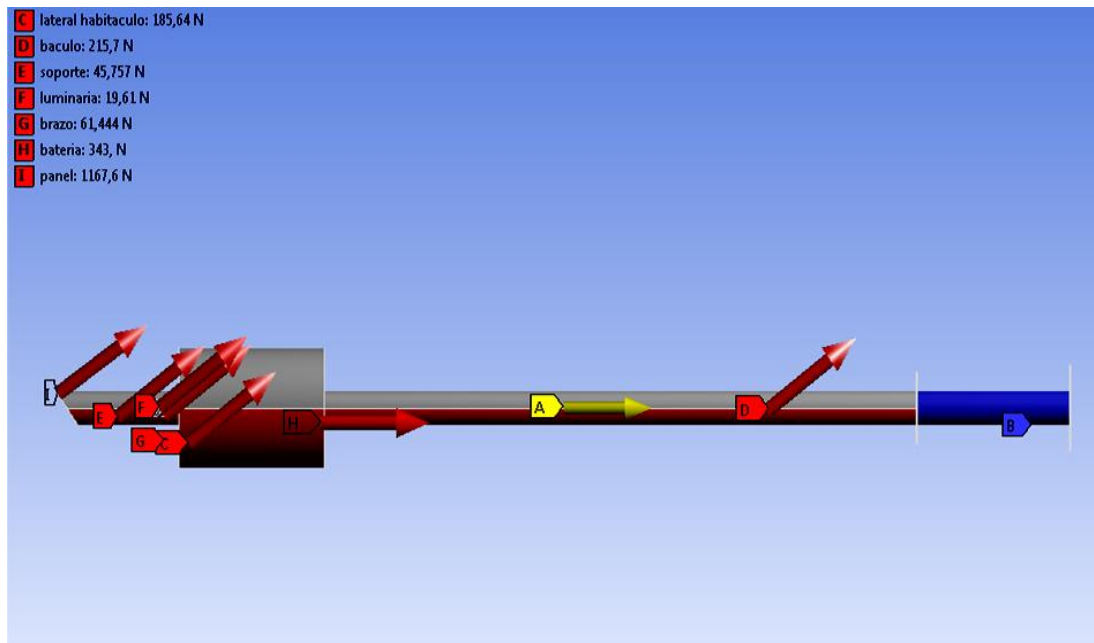


Figura 8.71: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

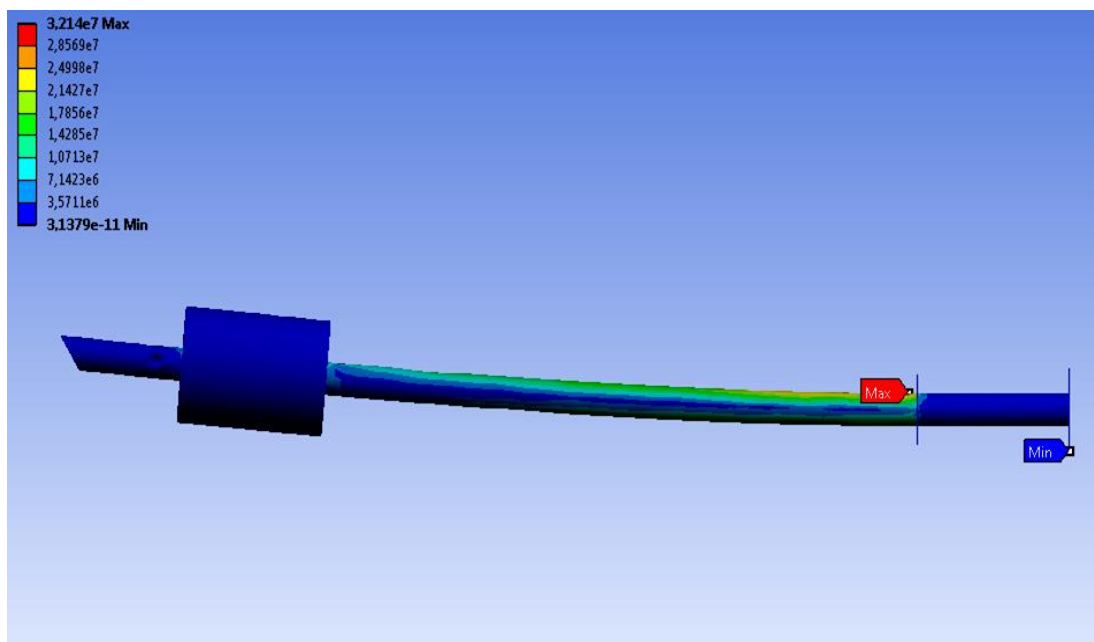


Figura 8.72: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

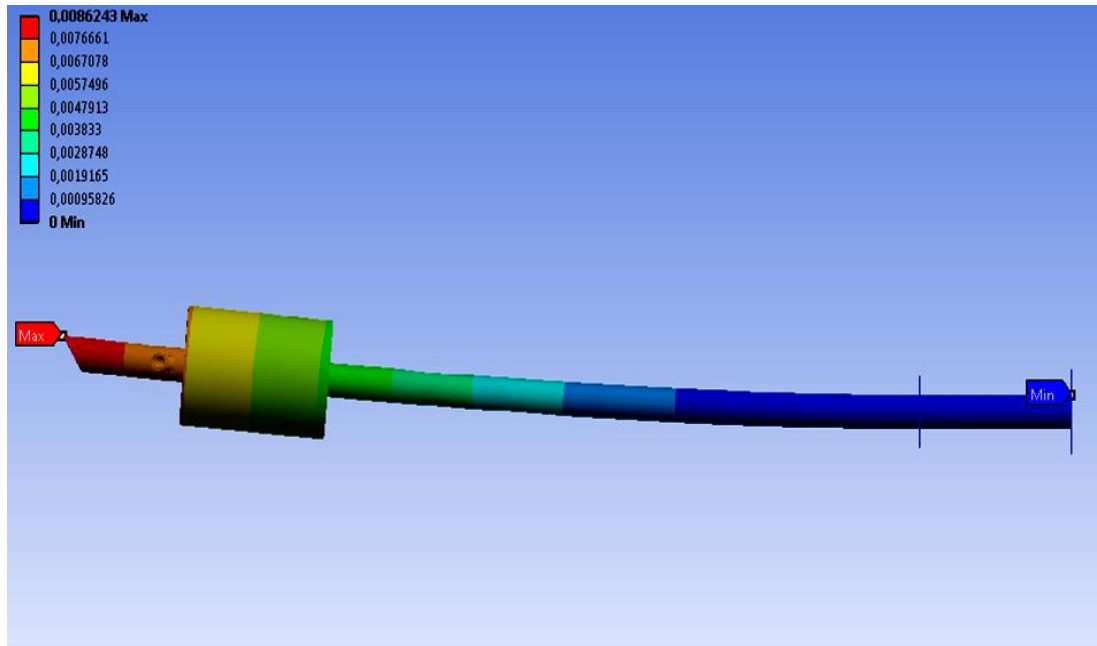


Figura 8.73: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

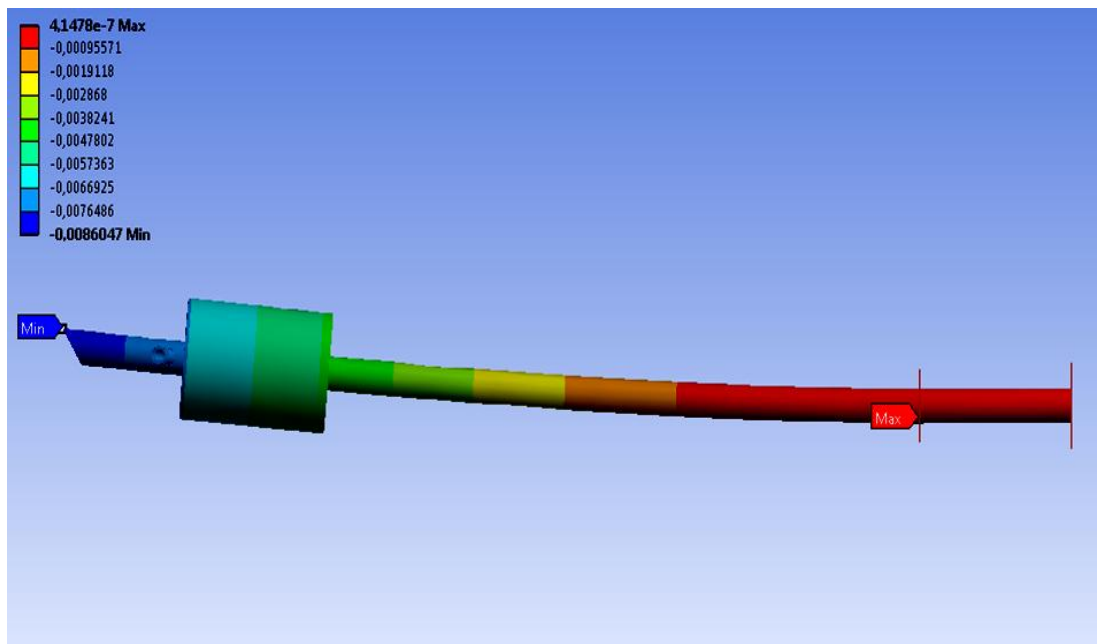


Figura 8.74: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

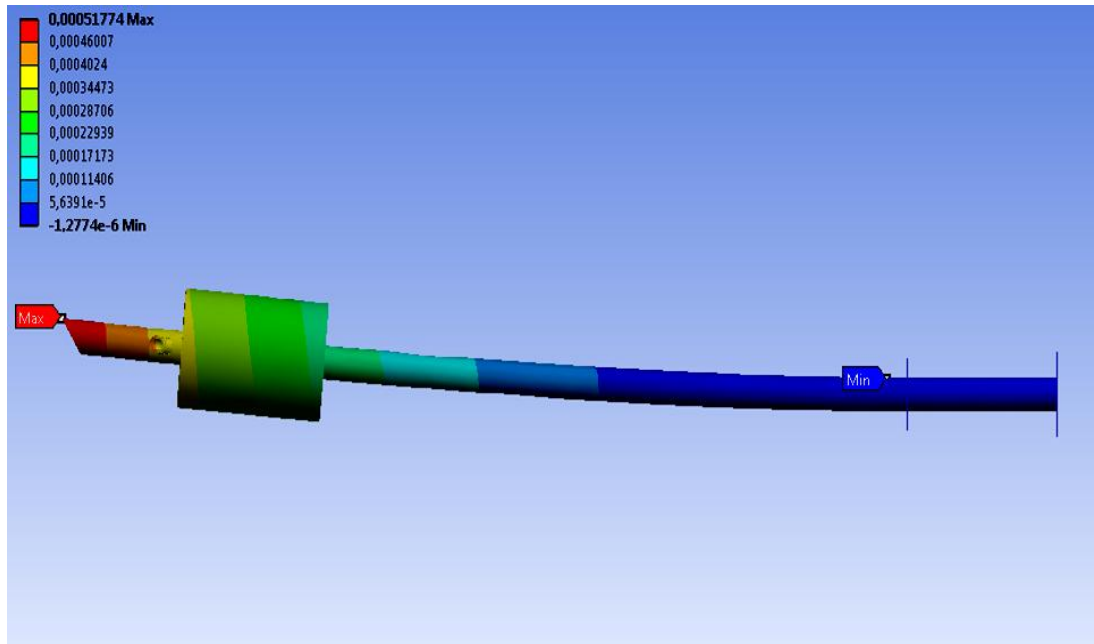


Figura 8.75: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

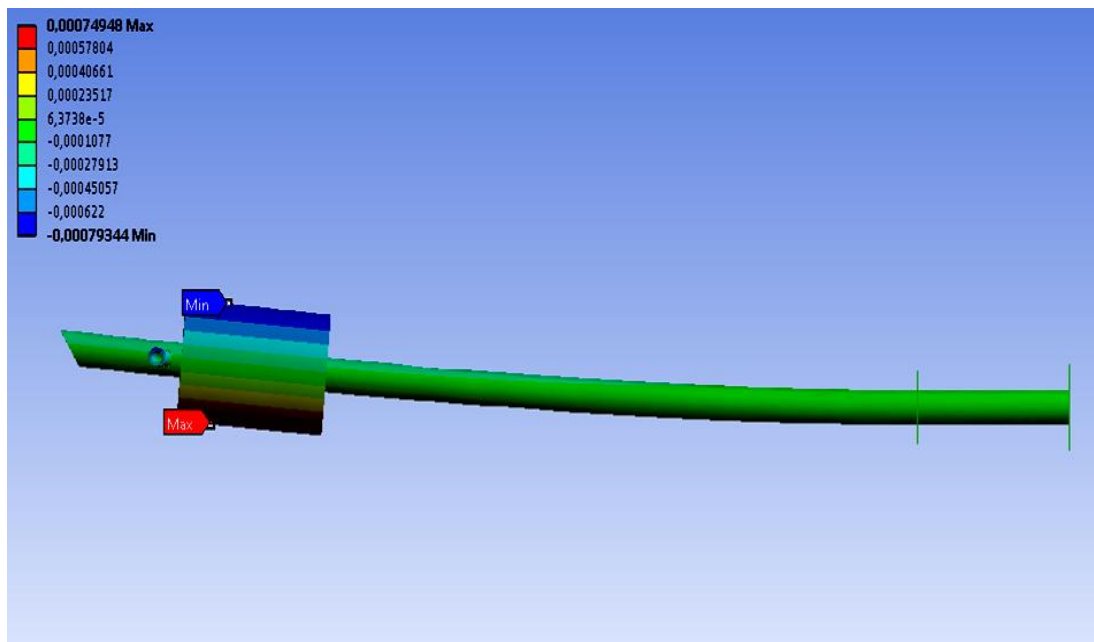


Figura 8.76: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

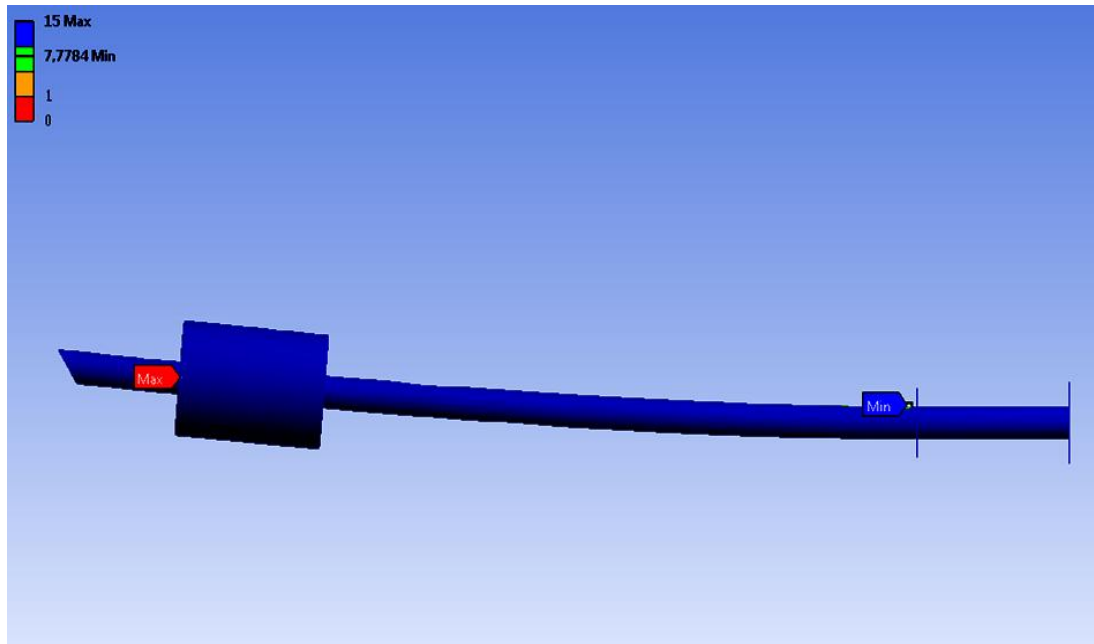


Figura 8.77: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

El punto de máxima tensión ($3,214 \cdot 10^7 \text{ Pa}$), que es inferior al límite elástico del material, se localiza en la parte inferior del báculo. El punto de mínima tensión ($3,1379 \cdot 10^{-11} \text{ Pa}$) se encuentra situado en la placa base debido a que ésta se encuentra cimentada.

El punto de máxima deformación total ($0,0086243 \text{ m}$) se encuentra localizado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte, y el punto de mínima deformación total (0 m) se encuentra en la placa base debido a que ésta está cimentada.

El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje X ($4,1478 \cdot 10^{-7} \text{ m}$) está situado en la parte inferior del báculo. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Y ($0,00051774 \text{ m}$) está situado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Z ($0,00074948 \text{ m}$) está situado en el lateral del habitáculo de la batería.

El factor de seguridad mínimo (7,7784) es mayor que 1,2.

8.5.2.2. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad perpendicular al panel e incidente sobre la superficie libre del panel fotovoltaico para la estructura-soporte de la luminaria de 40W:

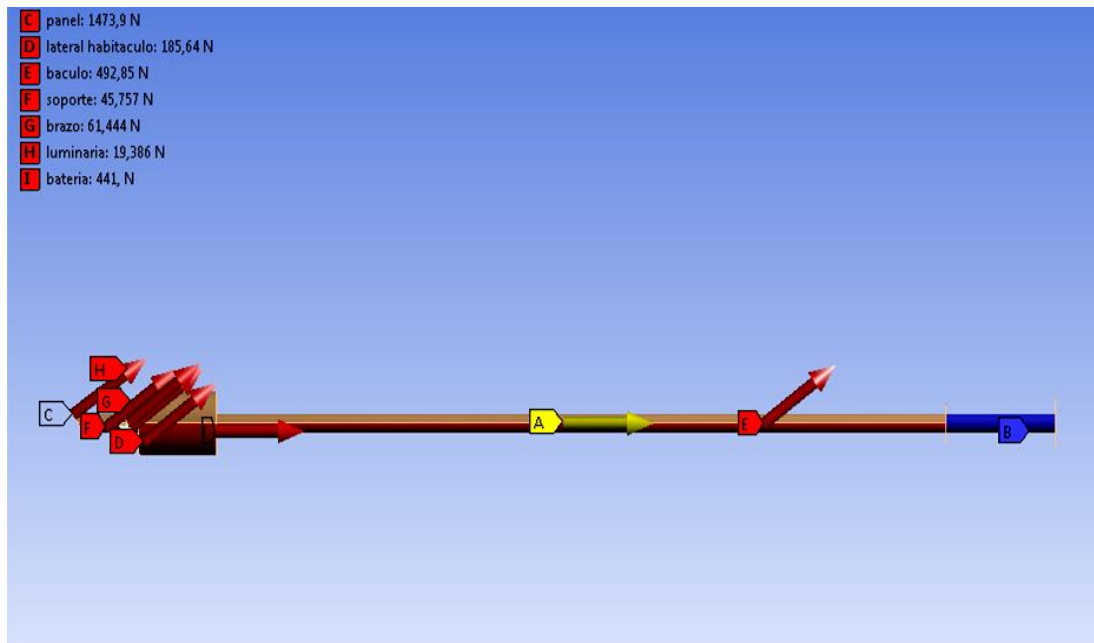


Figura 8.78: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

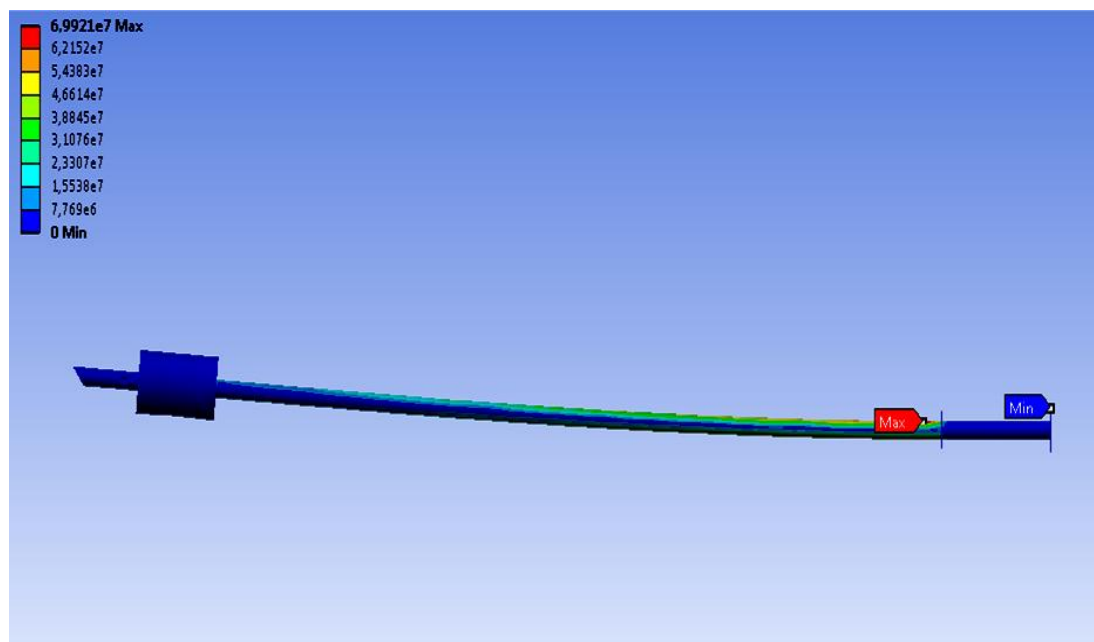


Figura 8.79: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

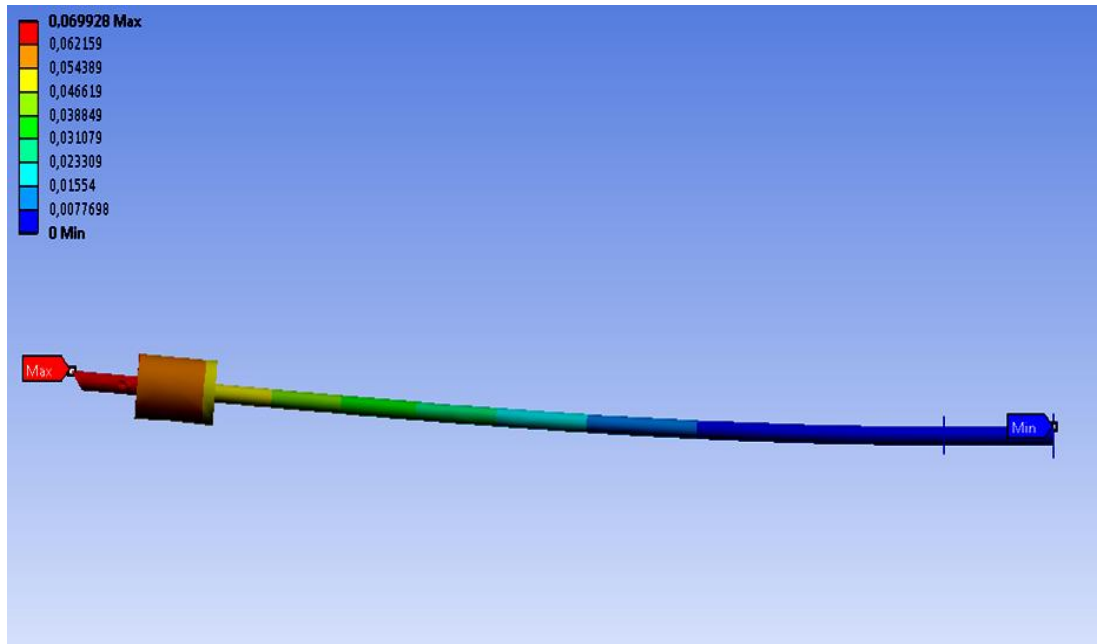


Figura 8.80: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

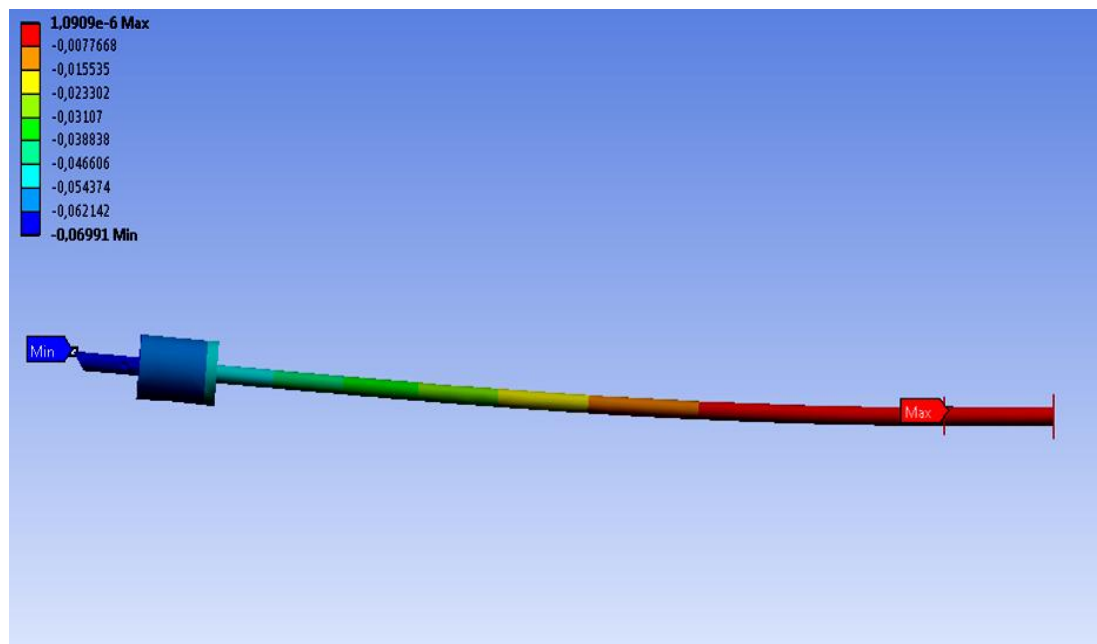


Figura 8.81: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

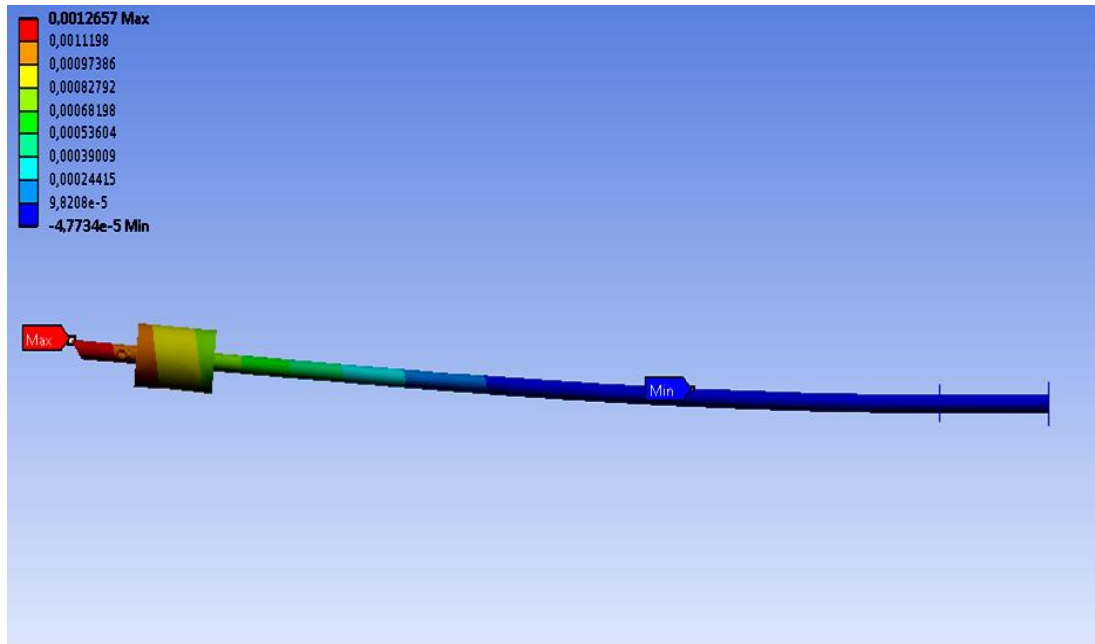


Figura 8.82: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

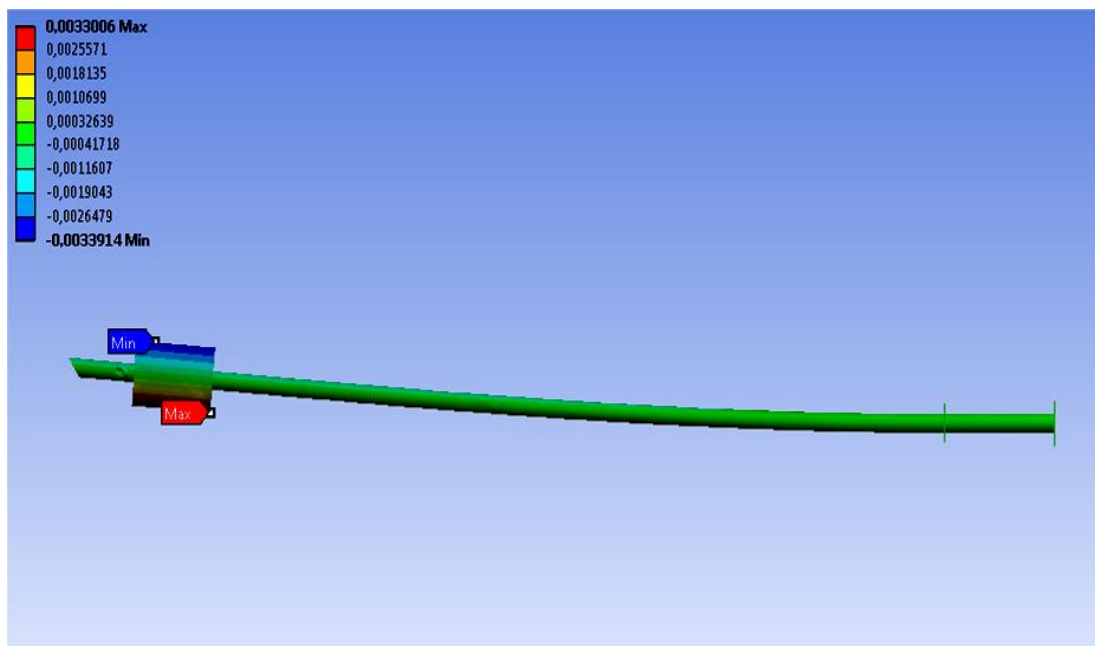


Figura 8.83: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

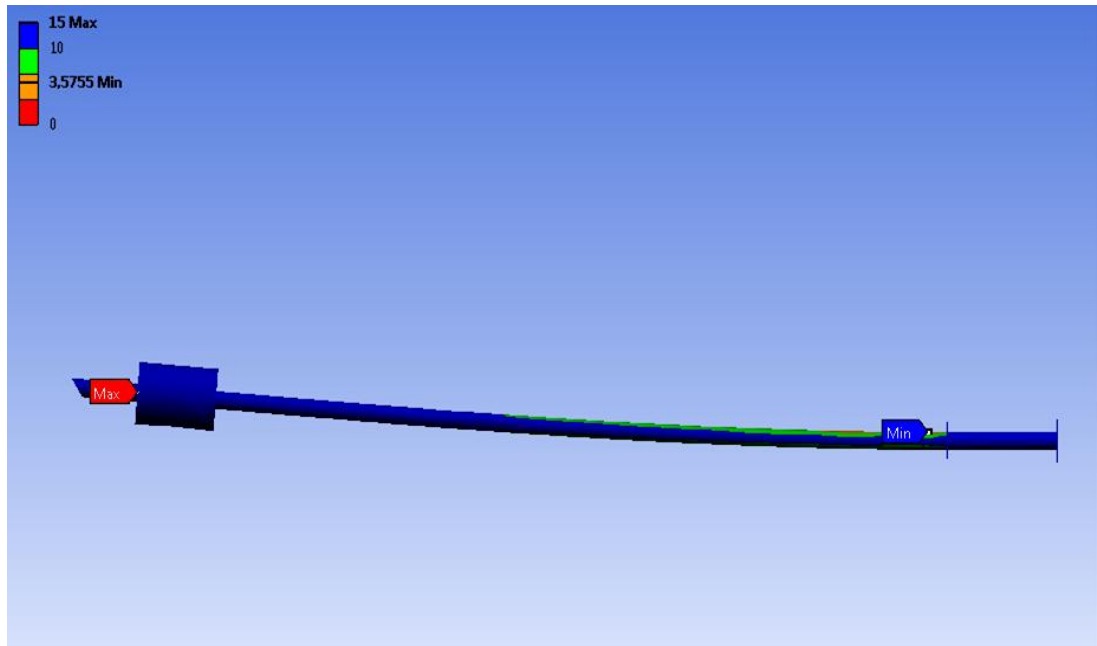


Figura 8.84: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

El punto de máxima tensión ($6,9921 \cdot 10^7 \text{ Pa}$), que es inferior al límite elástico del material, se localiza en la parte inferior del báculo. El punto de mínima tensión (0 Pa) se encuentra situado en la placa base debido a que ésta se encuentra cimentada.

El punto de máxima deformación total ($0,069928 \text{ m}$) se encuentra localizado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte, y el punto de mínima deformación total (0 m) se encuentra en la placa base debido a que ésta está cimentada.

El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje X ($1,0909 \cdot 10^{-6} \text{ m}$) está situado en la parte inferior del báculo. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Y ($0,0012657 \text{ m}$) está situado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Z ($0,0033006 \text{ m}$) está situado en el lateral del habitáculo de la batería.

El factor de seguridad mínimo (3,5755) es mayor que 1,2.

8.5.2.3. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad perpendicular al panel e incidente sobre la superficie libre del panel fotovoltaico para la estructura-soporte de la luminaria de 70W:

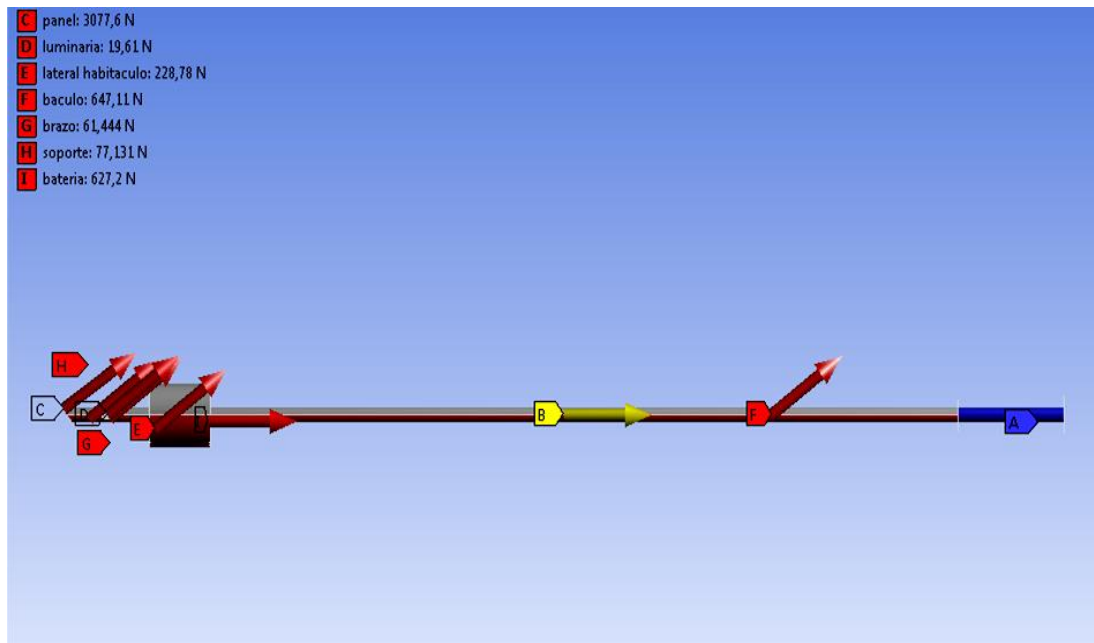


Figura 8.85: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

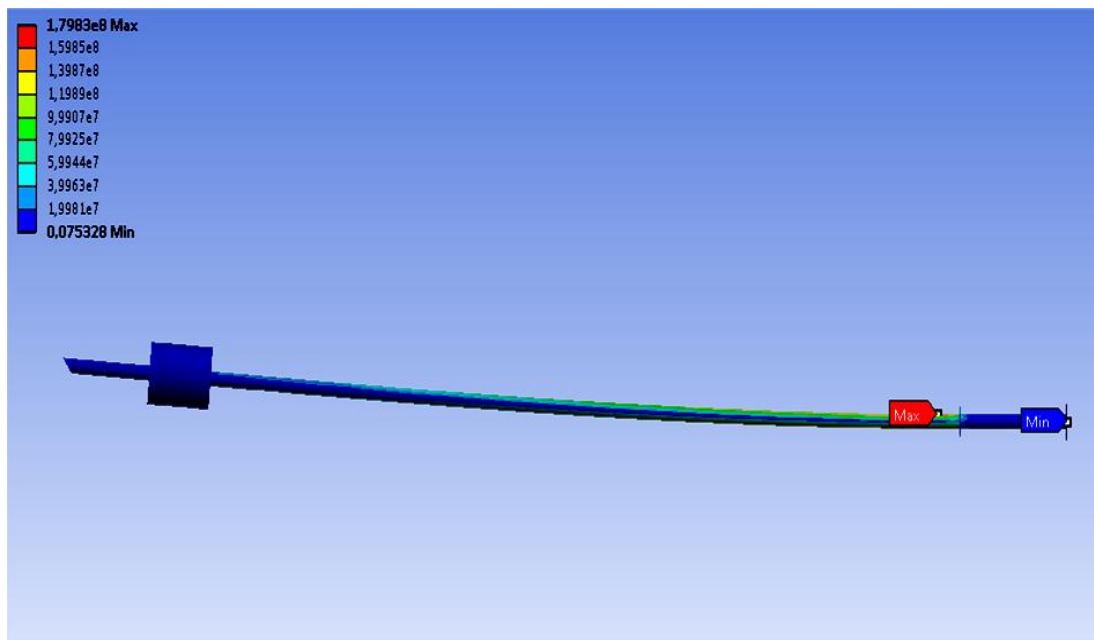


Figura 8.86: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

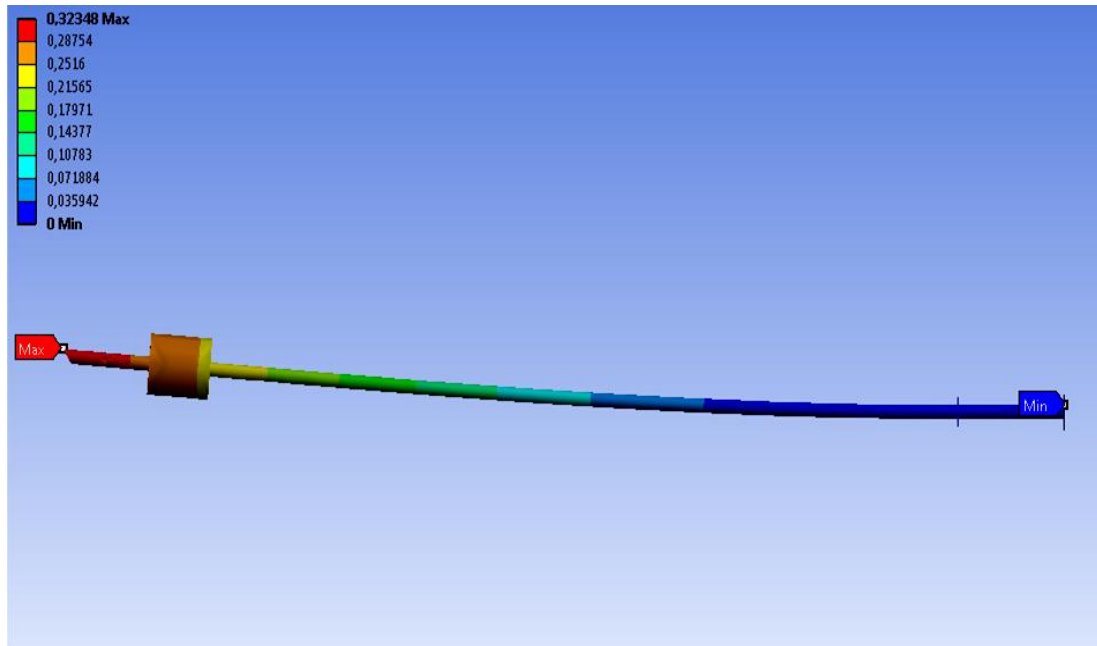


Figura 8.87: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

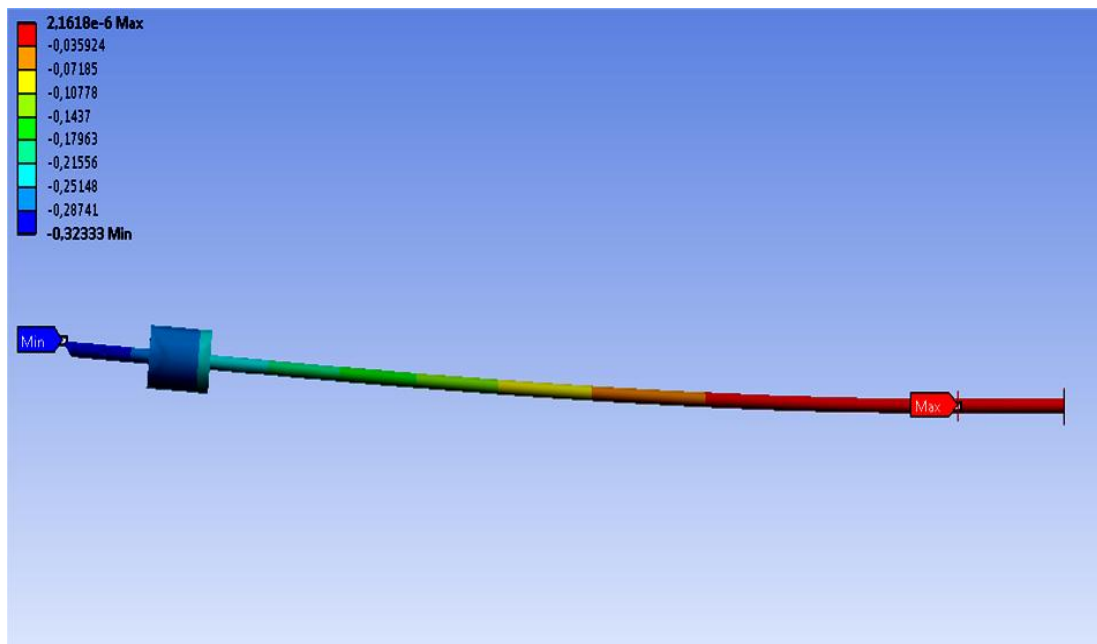


Figura 8.88: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

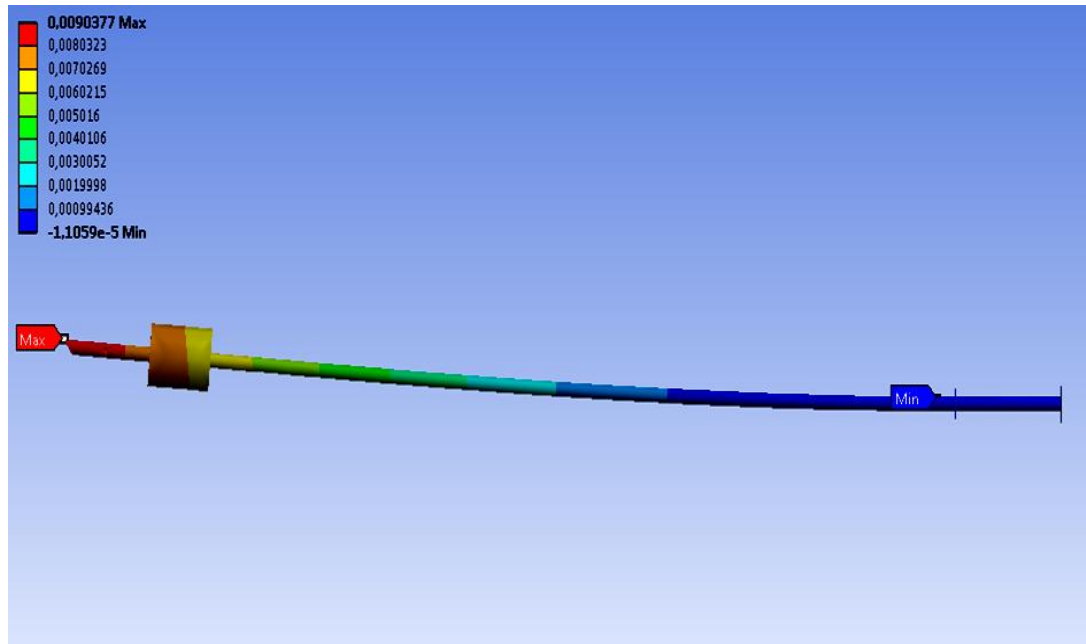


Figura 8.89: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

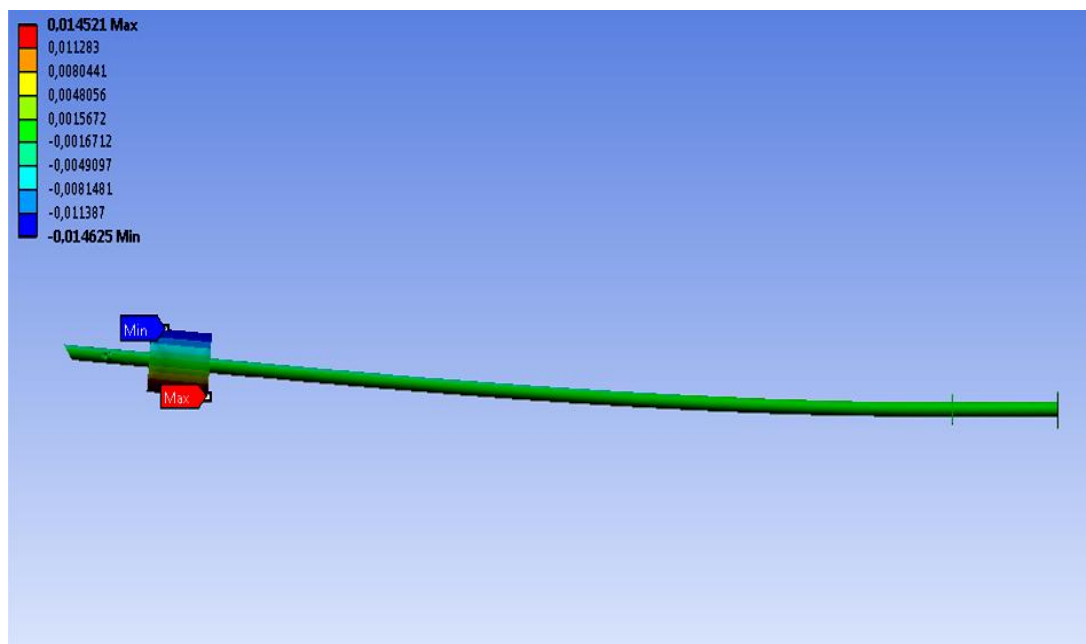


Figura 8.90: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

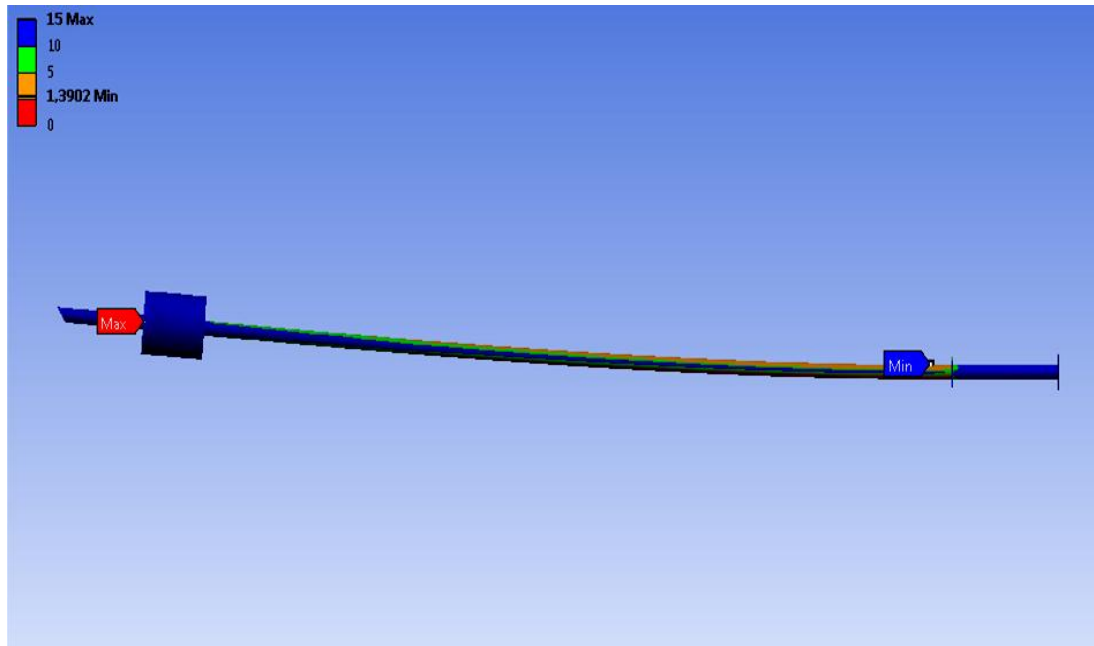


Figura 8.91: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

El punto de máxima tensión ($1,7983 \cdot 10^8 \text{Pa}$), que es inferior al límite elástico del material, se localiza en la parte inferior del báculo. El punto de mínima tensión ($0,075328 \text{Pa}$) se encuentra situado en la placa base debido a que ésta se encuentra cimentada.

El punto de máxima deformación total ($0,32348 \text{m}$) se encuentra localizado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte, y el punto de mínima deformación total (0m) se encuentra en la placa base debido a que ésta está cimentada.

El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje X ($2,1618 \cdot 10^{-6} \text{m}$) está situado en la parte inferior del báculo. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Y ($0,0090377 \text{m}$) está situado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Z ($0,014521 \text{m}$) está situado en el lateral del habitáculo de la batería.

El factor de seguridad mínimo (1,3902) es mayor que 1,2.

8.5.2.4. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad perpendicular al panel e incidente sobre la superficie del panel fotovoltaico que se une a la estructura-soporte de la luminaria de 30W:

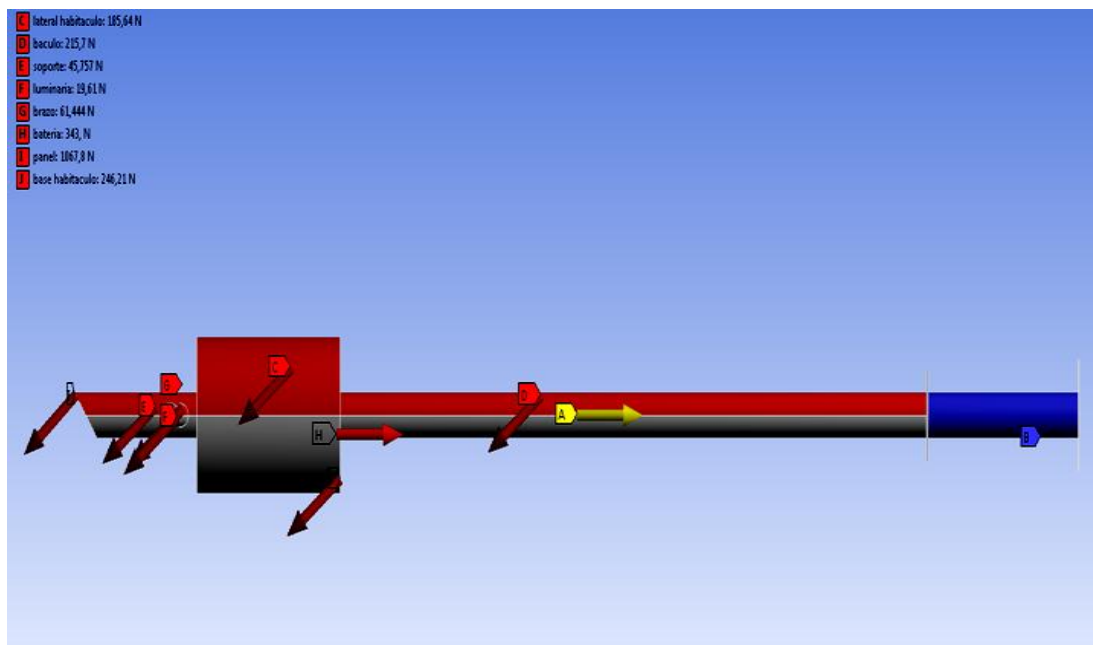


Figura 8.92: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

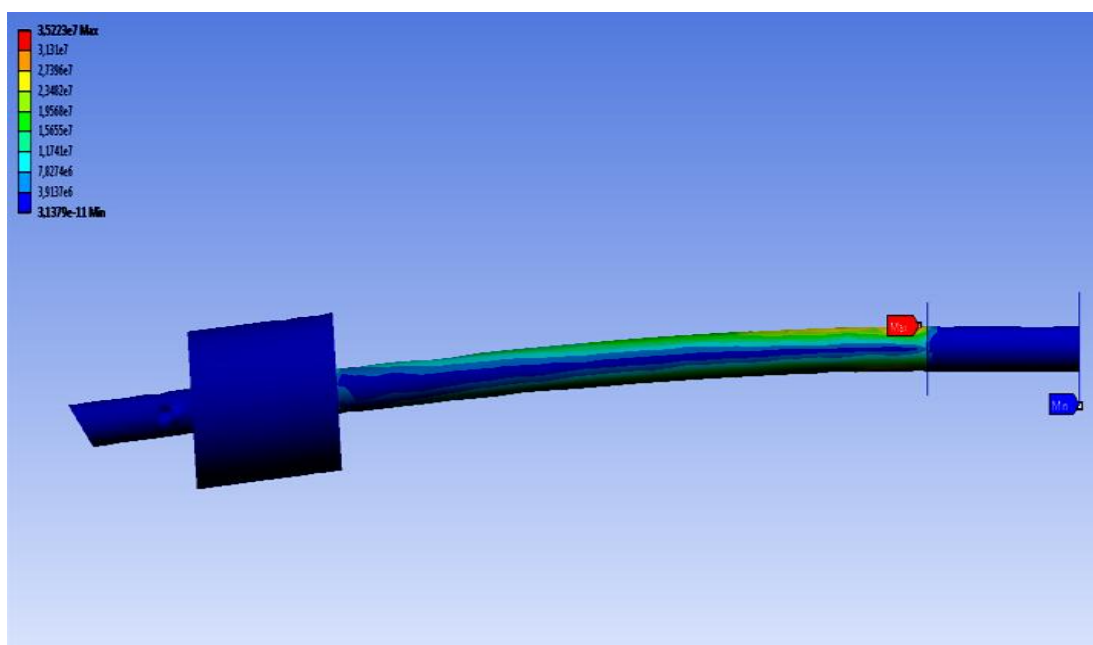


Figura 8.93: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

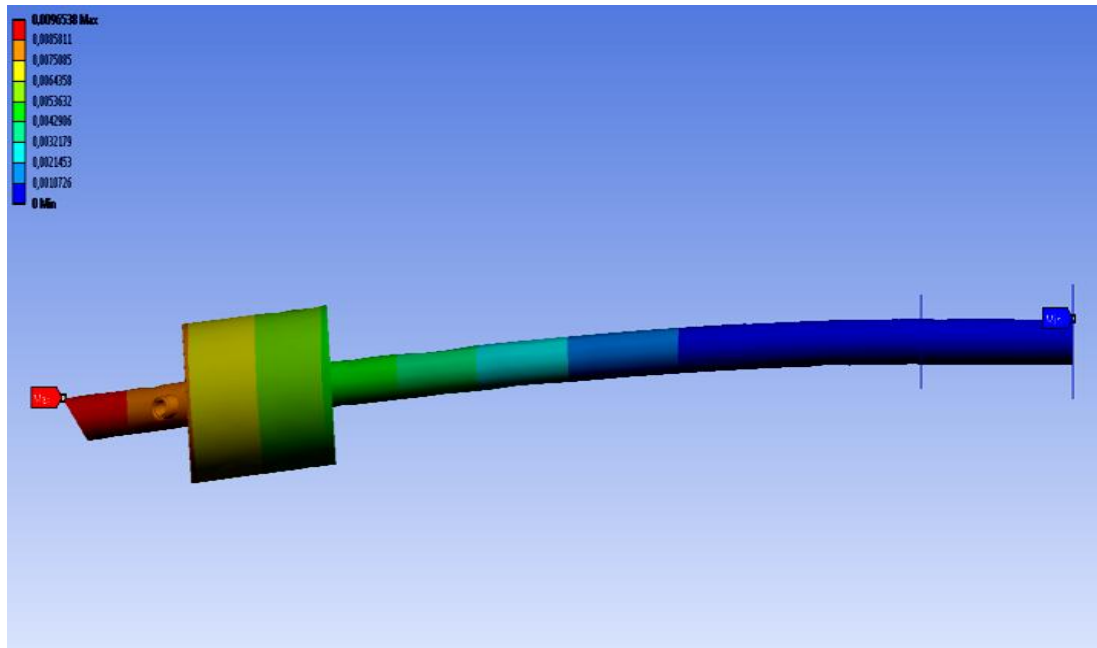


Figura 8.94: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

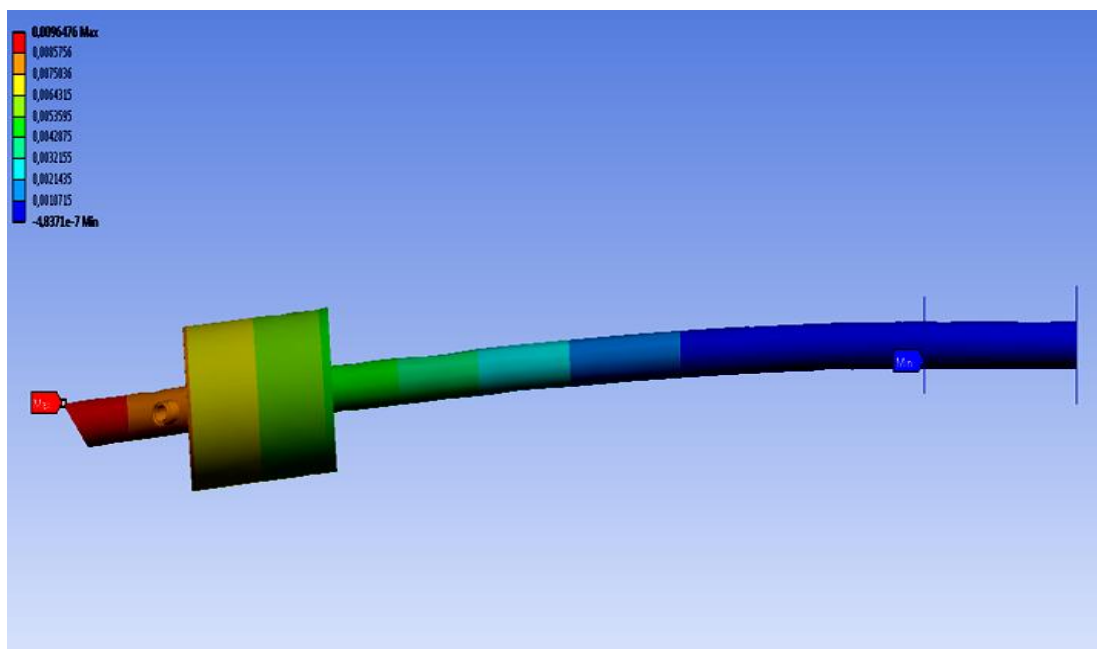


Figura 8.95: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

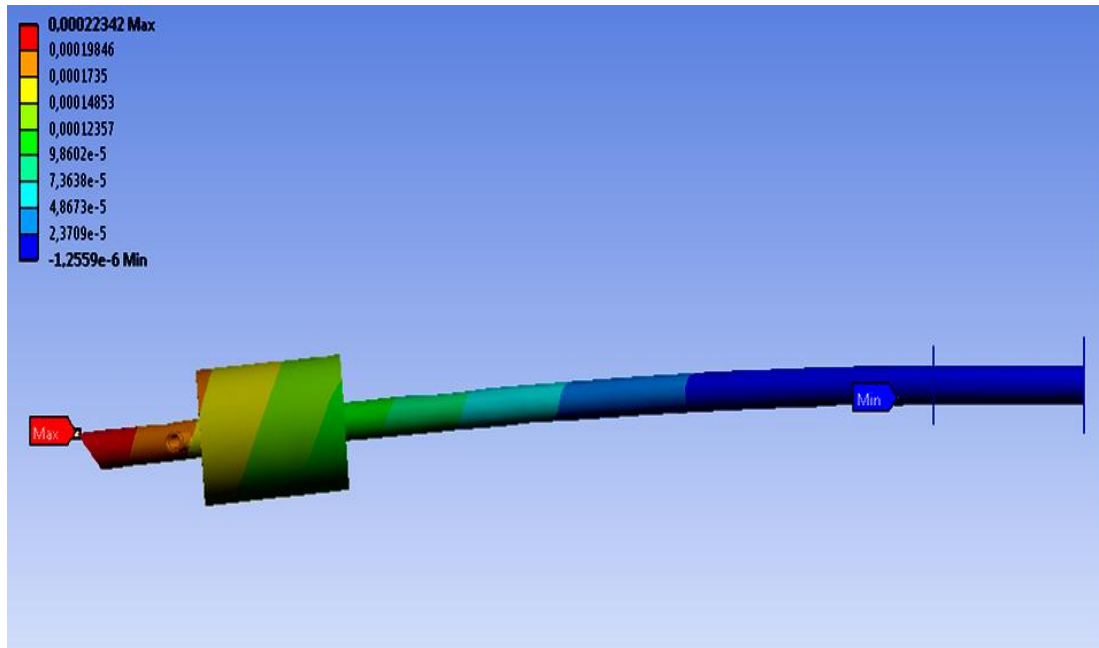


Figura 8.96: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

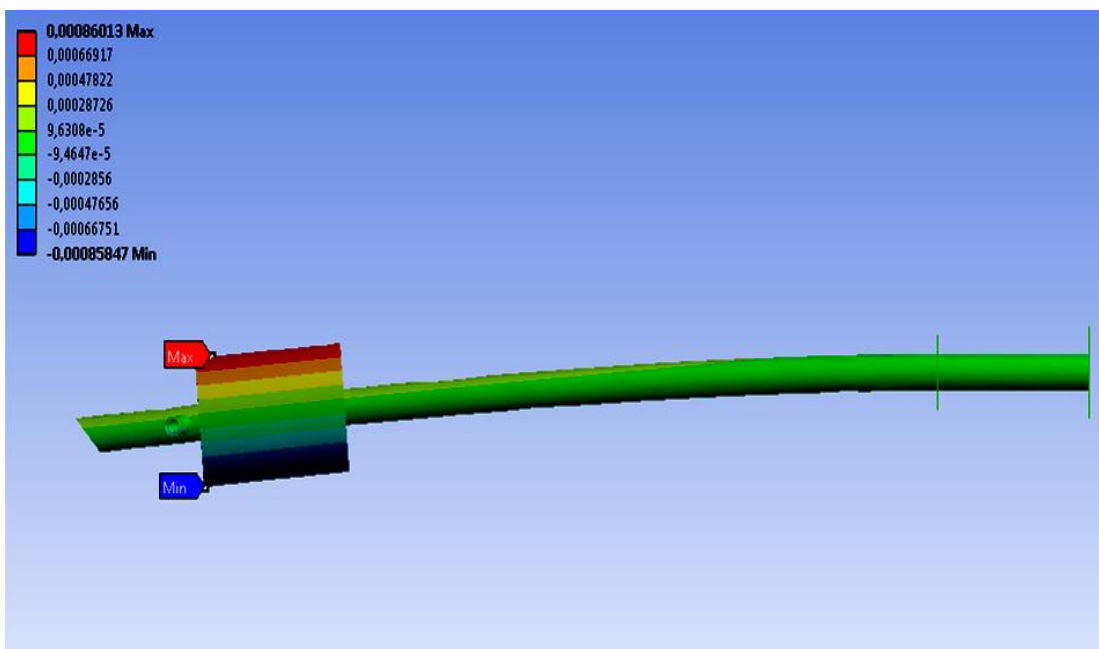


Figura 8.97: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

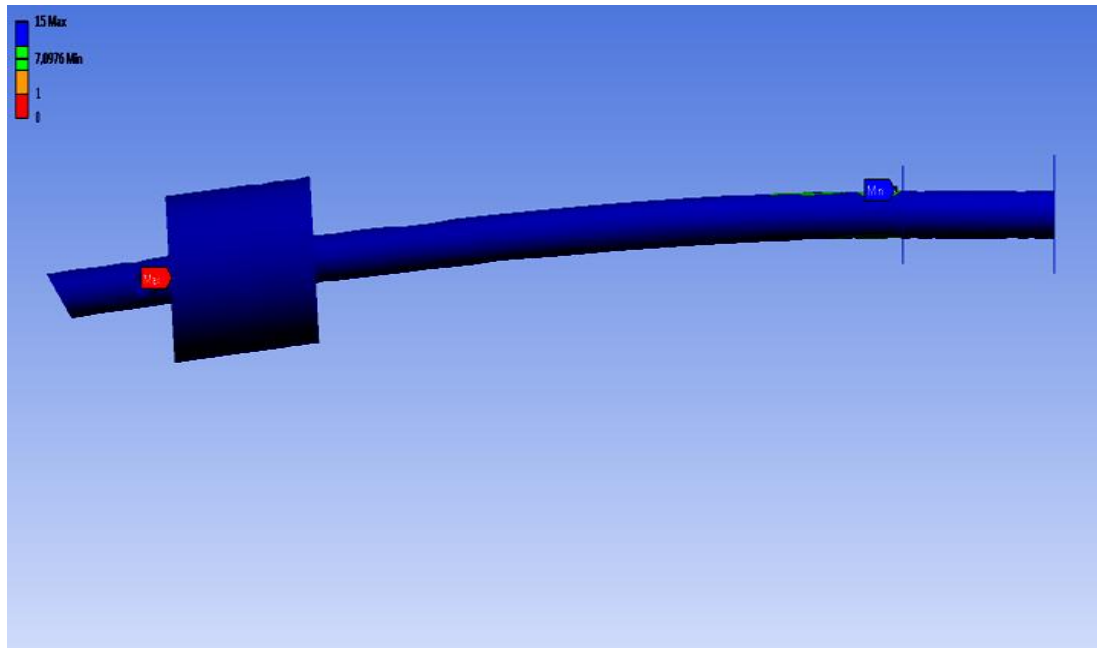


Figura 8.98: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 30W.

El punto de máxima tensión ($3,5223 \cdot 10^7 \text{ Pa}$), que es inferior al límite elástico del material, se localiza en la parte inferior del báculo. El punto de mínima tensión ($3,1379 \cdot 10^{-11} \text{ Pa}$) se encuentra situado en la placa base debido a que ésta se encuentra cimentada.

El punto de máxima deformación total (0,0096538m) se encuentra localizado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte, y el punto de mínima deformación total (0m) se encuentra en la placa base debido a que ésta está cimentada.

El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje X (0,00964676m) está situado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Y (0,00022342m) está situado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Z (0,00086013m) está situado en el lateral del habitáculo de la batería.

El factor de seguridad mínimo (7,0976) es mayor que 1,2.

8.5.2.5. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad perpendicular al panel e incidente sobre la superficie del panel fotovoltaico que se une a la estructura-soporte de la luminaria de 40W:

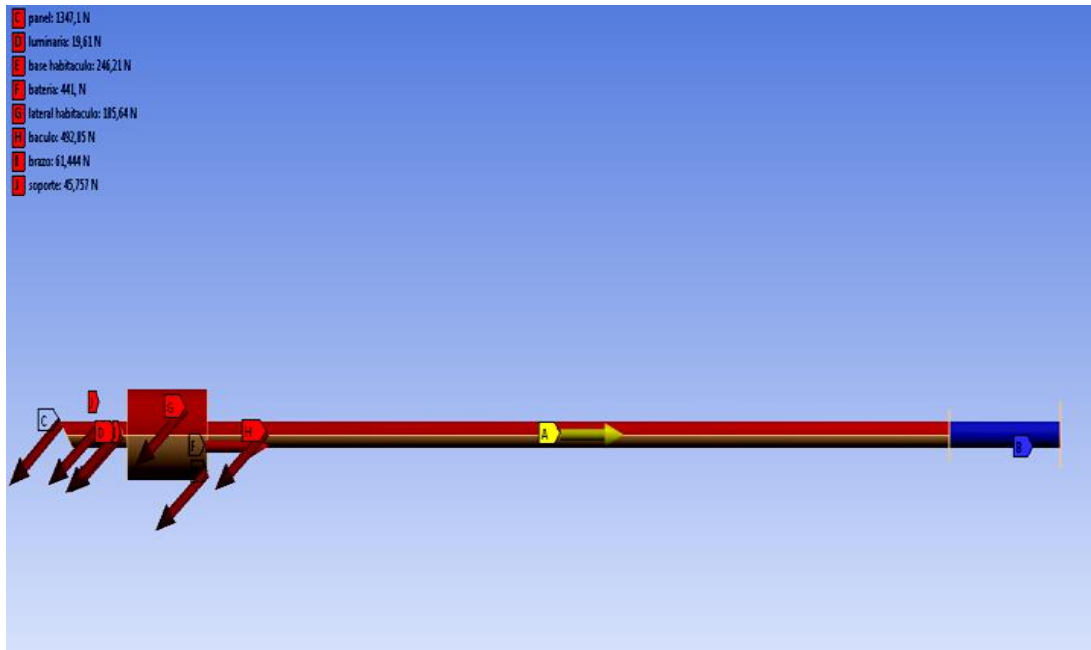


Figura 8.99: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

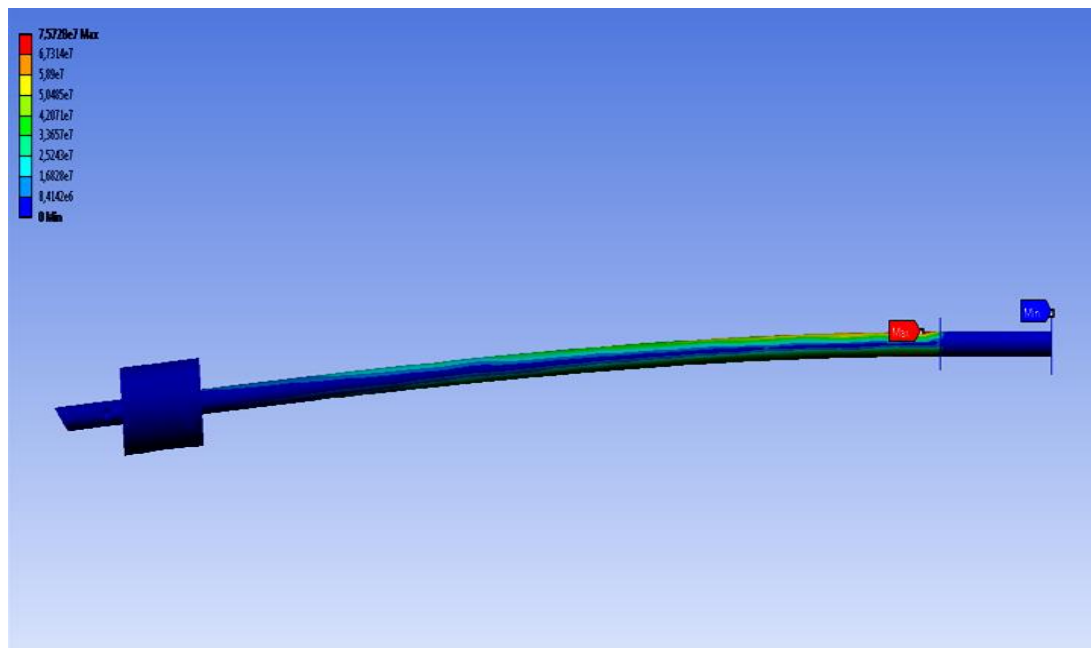


Figura 8.100: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

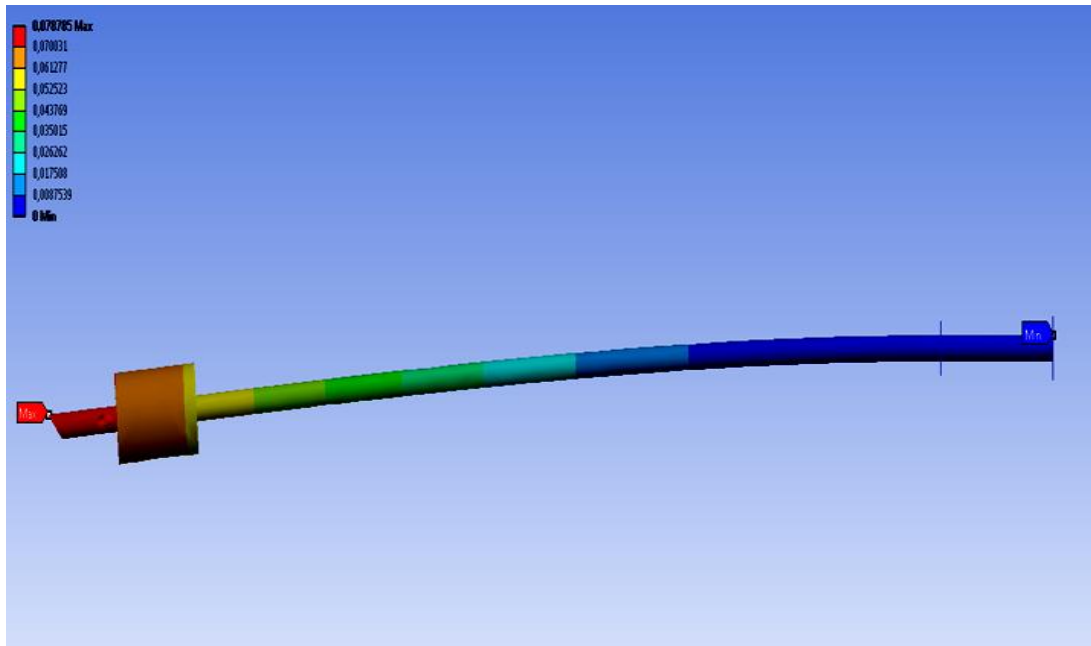


Figura 8.101: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

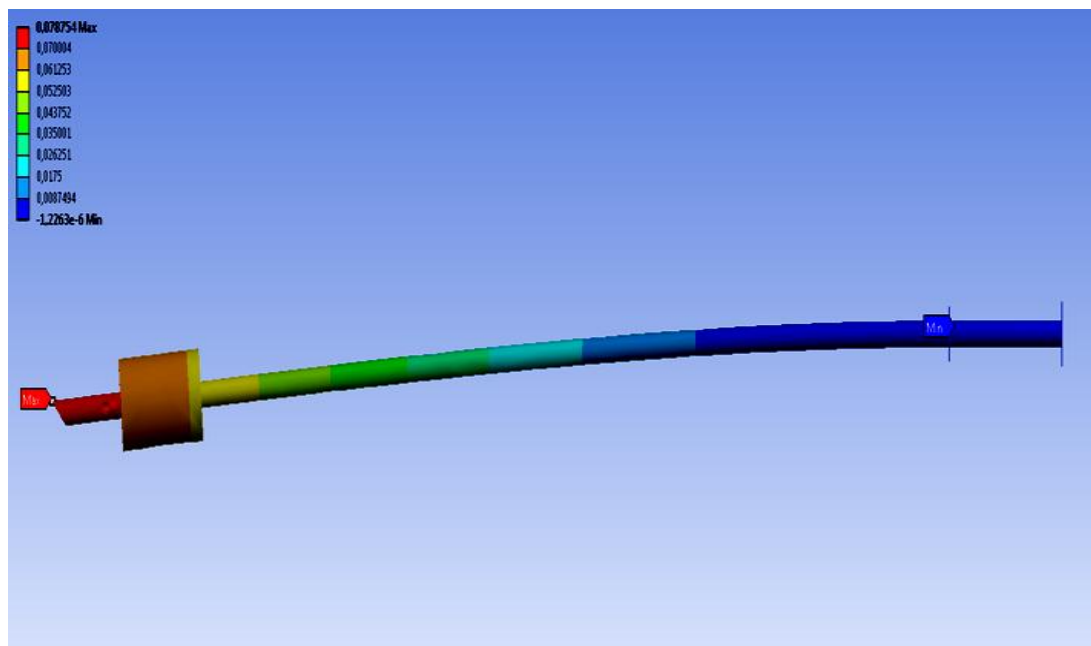


Figura 8.102: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

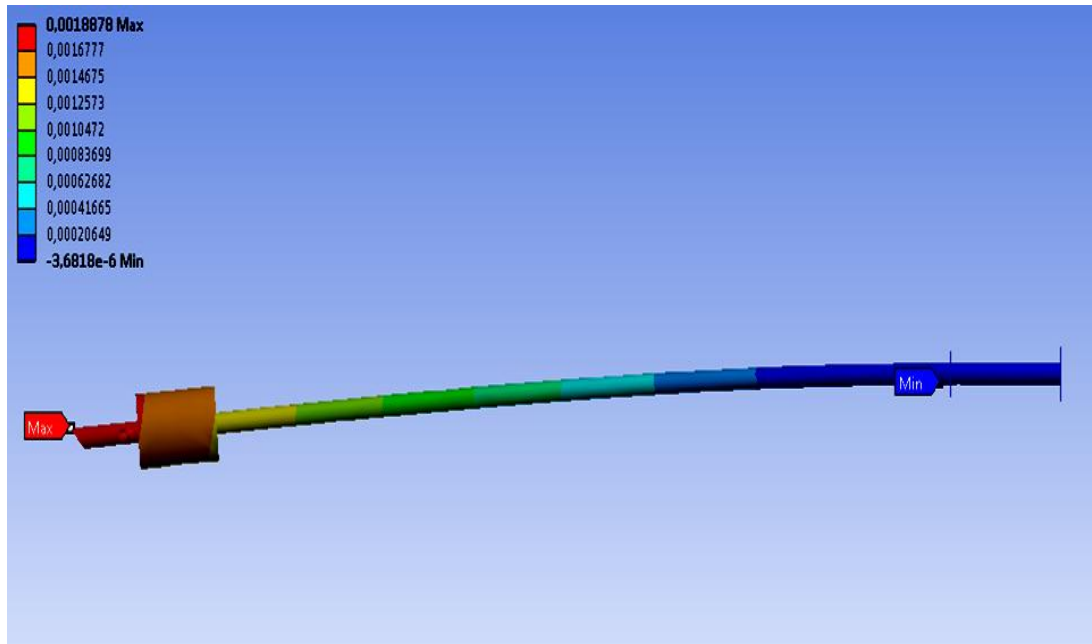


Figura 8.103: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

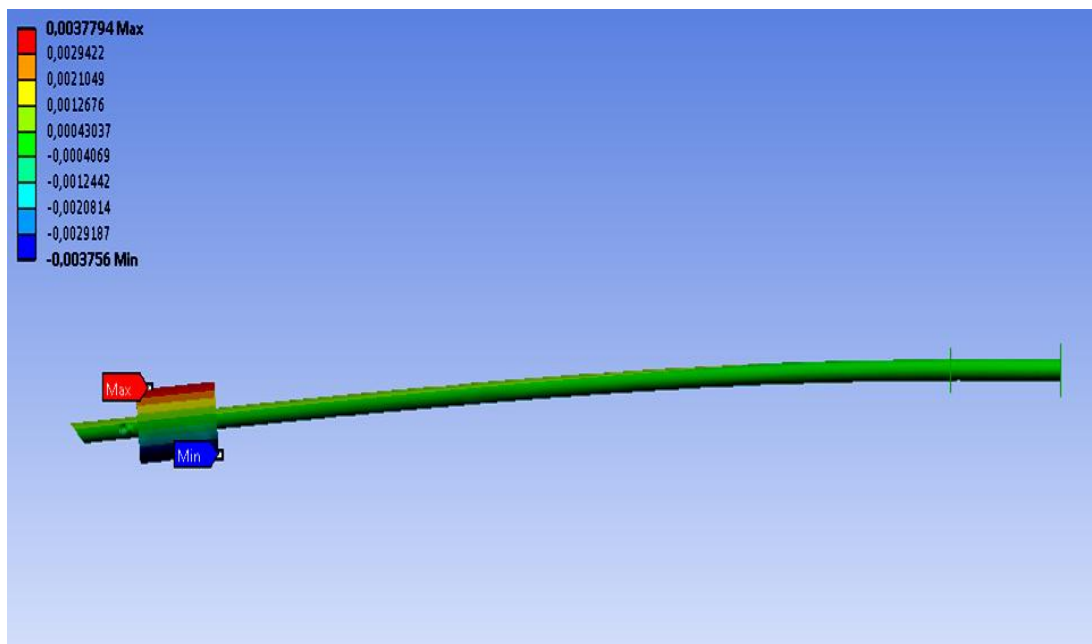


Figura 8.104: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

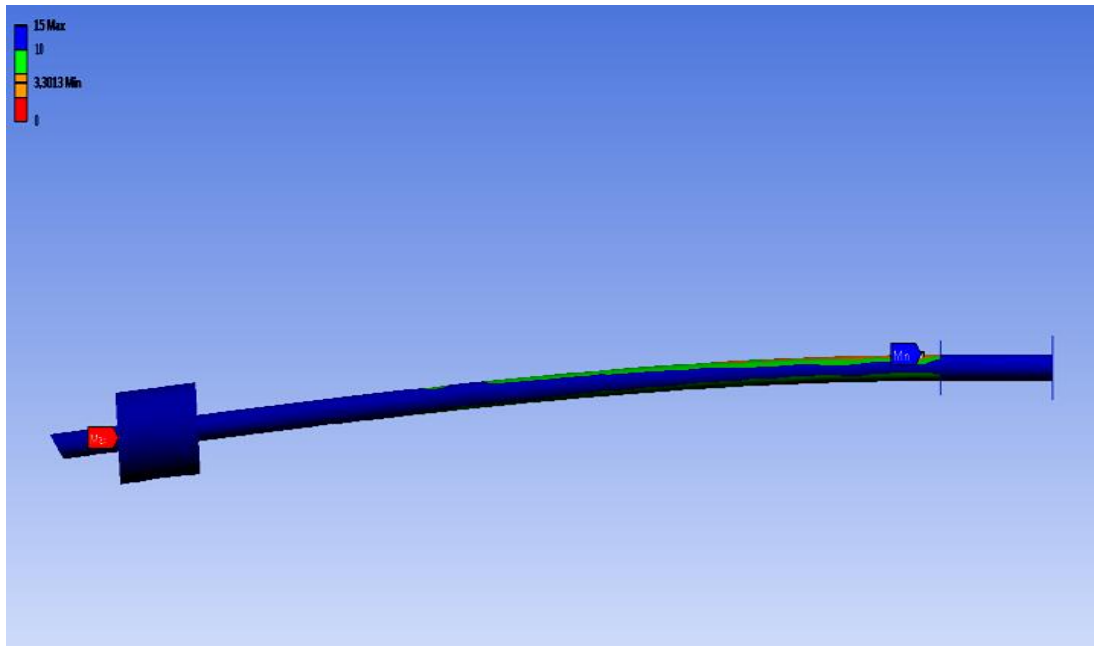


Figura 8.105: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 40W.

El punto de máxima tensión ($7,5728 \cdot 10^7 \text{ Pa}$), que es inferior al límite elástico del material, se localiza en la parte inferior del báculo. El punto de mínima tensión (0 Pa) se encuentra situado en la placa base debido a que ésta se encuentra cimentada.

El punto de máxima deformación total ($0,078785 \text{ m}$) se encuentra localizado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte, y el punto de mínima deformación total (0 m) se encuentra en la placa base debido a que ésta está cimentada.

El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje X ($0,078754 \text{ m}$) está situado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Y ($0,0018878 \text{ m}$) está situado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Z ($0,0037794 \text{ m}$) está situado en el lateral del habitáculo de la batería.

El factor de seguridad mínimo (3,3013) es mayor que 1,2.

8.5.2.6. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad perpendicular al panel e incidente sobre la superficie del panel fotovoltaico que se une a la estructura-soporte de la luminaria de 70W:

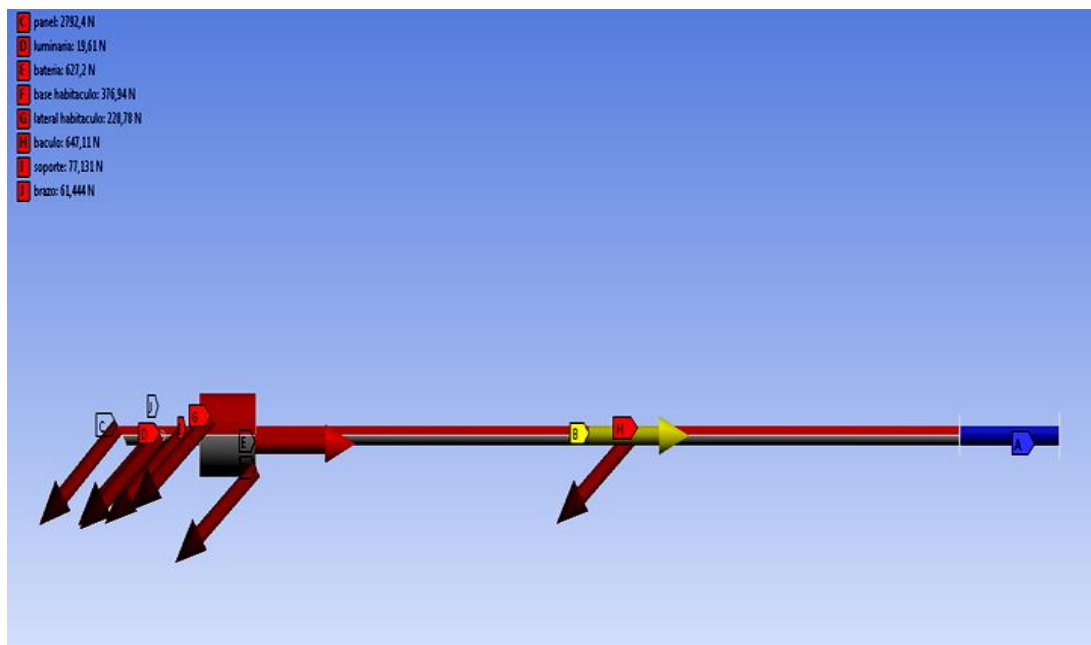


Figura 8.106: Posicionamiento de las cargas sobre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

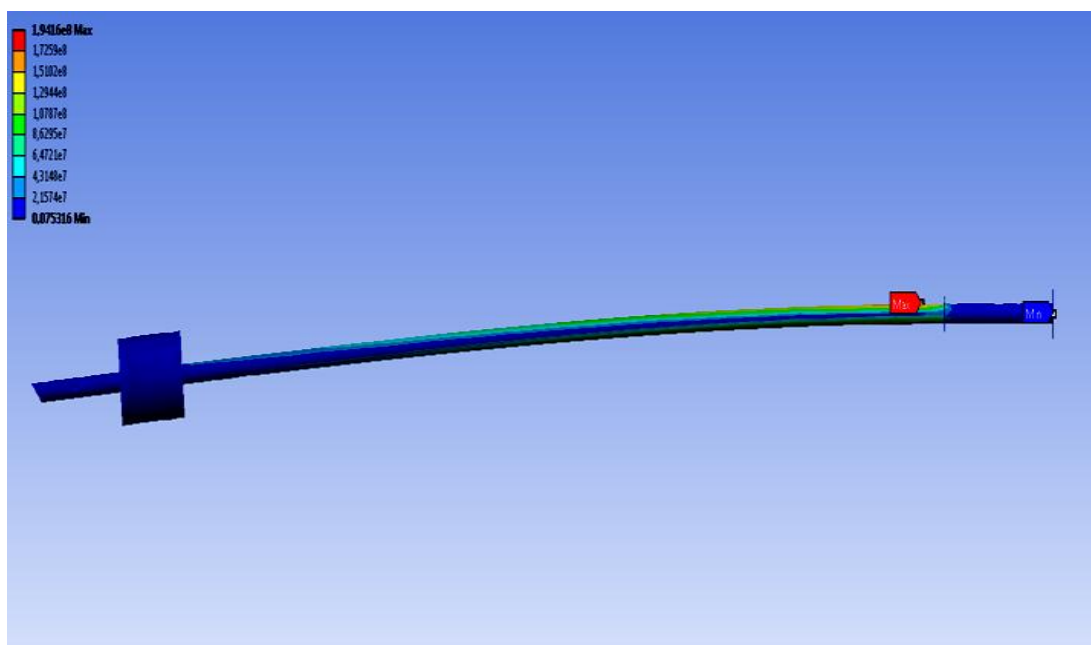


Figura 8.107: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

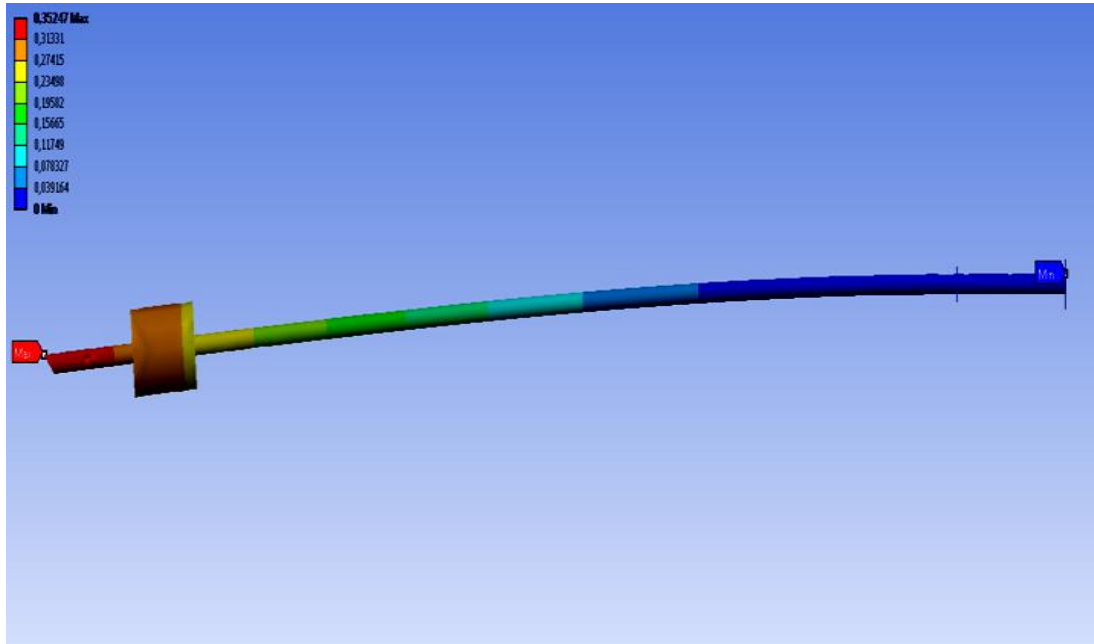


Figura 8.108: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

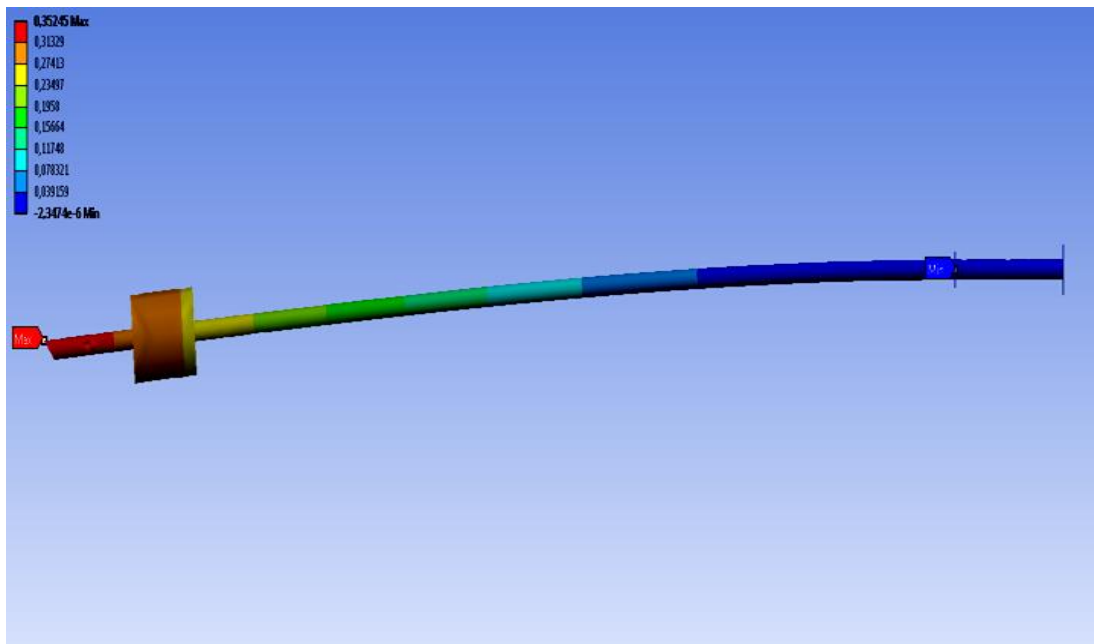


Figura 8.109: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

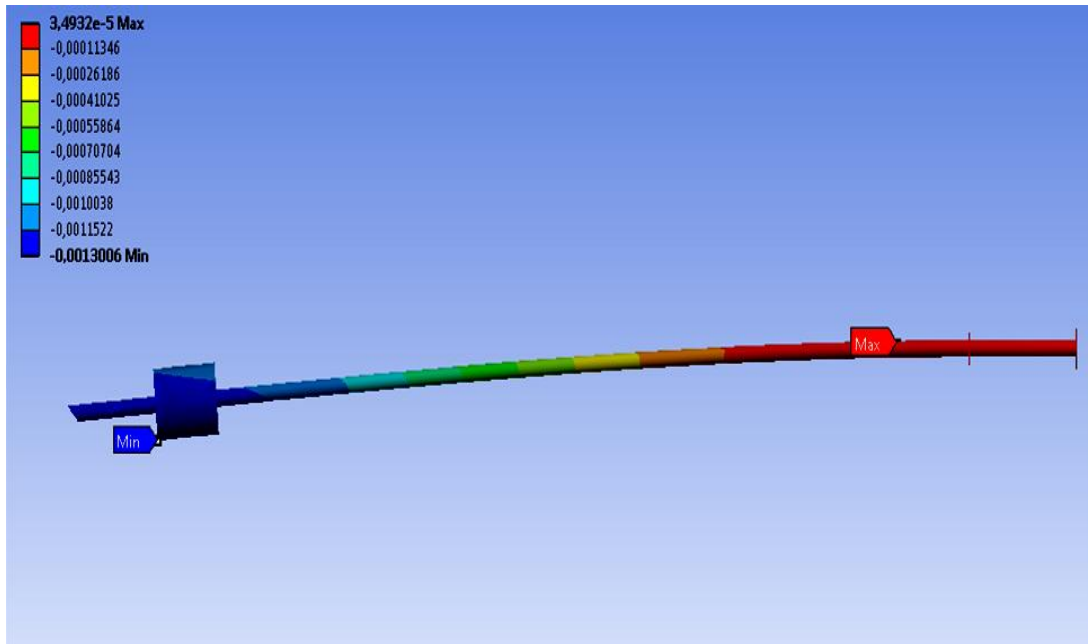


Figura 8.110: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

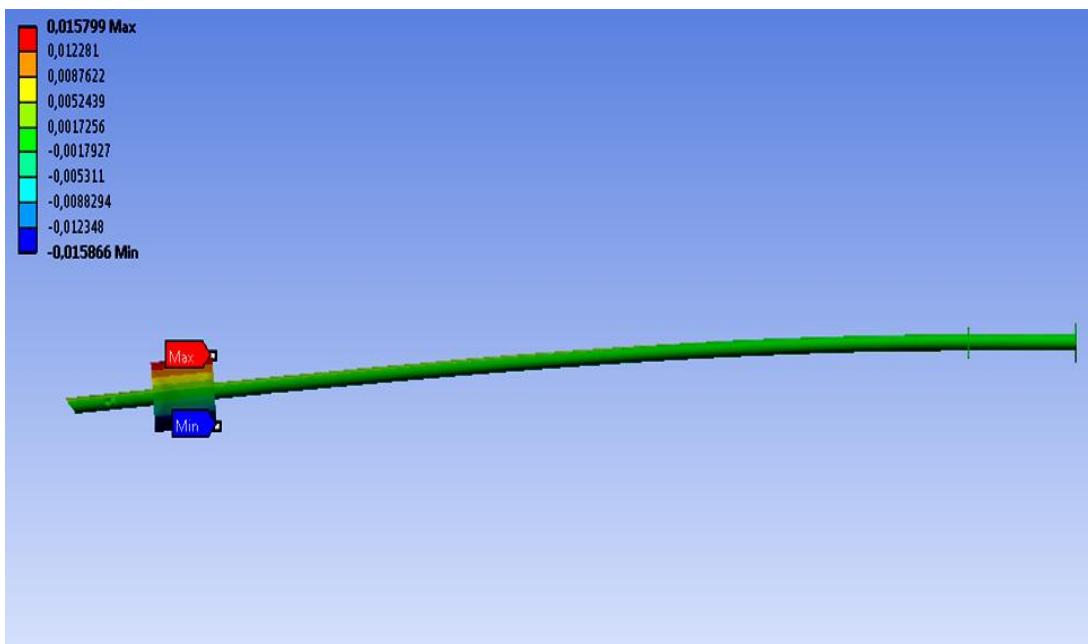


Figura 8.111: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

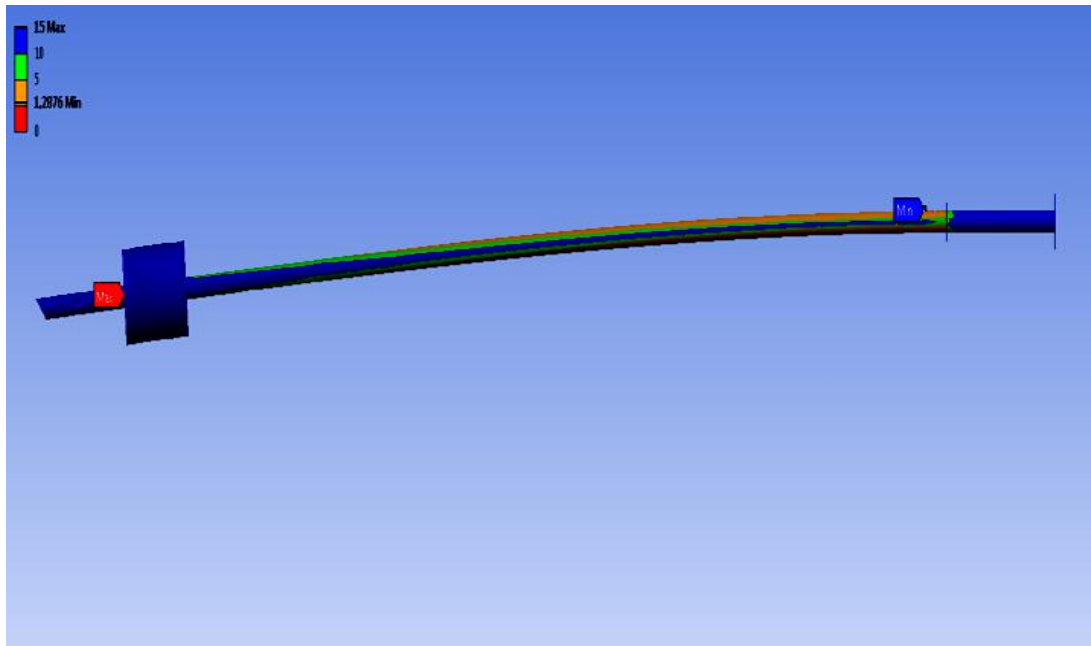


Figura 8.112: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

El punto de máxima tensión ($1,9416 \cdot 10^8 \text{ Pa}$), que es inferior al límite elástico del material, se localiza en la parte inferior del báculo. El punto de mínima tensión ($0,075316 \text{ Pa}$) se encuentra situado en la placa base debido a que ésta se encuentra cimentada.

El punto de máxima deformación total ($0,35247 \text{ m}$) se encuentra localizado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte, y el punto de mínima deformación total (0 m) se encuentra en la placa base debido a que ésta está cimentada.

El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje X ($0,35245 \text{ m}$) está situado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Y ($3,4932 \cdot 10^{-5} \text{ m}$) está situado en el báculo. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Z ($0,015799 \text{ m}$) está situado en el lateral del habitáculo de la batería.

El factor de seguridad mínimo ($1,2876$) es mayor que $1,2$.

8.6. Verificación:

En los resultados obtenidos para los ensayos de carga estática, sobre los diferentes modelos, las deformaciones máximas se producen sobre los extremos libres de las estructuras-soporte y son muy reducidas, con lo que se garantiza que no se supera la deformación permanente máxima permitida. Los factores de seguridad conseguidos también superan el valor de 1,2.

Sin embargo, al observar los resultados obtenidos para la estructura-soporte de la luminaria de 70W sometida a velocidades de viento de 150km/h se comprueba que el factor de seguridad es ligeramente superior 1 en todos los ensayos pero no alcanza el valor mínimo exigido de 1,2 en todos ellos, establecido por el cliente como requisito en el pedido.

Debido a este hecho se decide emplear algún método que permita alcanzar el valor mínimo de 1,2 del factor de seguridad en todos los ensayos que se realizan sobre la estructura-soporte de la luminaria de 70W.

Existen numerosos métodos que posibilitan aumentar el valor de este factor de seguridad:

- Aumento del espesor del báculo.
- Aumento del diámetro del báculo.
- Empleo de un elemento rigidizador.

El método de aumentar el espesor del báculo tiene como principal inconveniente la necesidad de utilizar una mayor cantidad de material lo que haría aumentar el coste de fabricación, siendo éste el motivo de que sea descartado.

El método de aumentar el diámetro del báculo tiene como principal inconveniente el crecimiento de la resistencia que ofrece el báculo al viento, siendo éste el motivo de que sea descartado.

El método de emplear un elemento rigidizador no presenta el inconveniente del crecimiento de la resistencia que ofrece el báculo al viento puesto que los elementos rigidizadores se instalan en el interior del báculo. La cantidad de material adicional que se emplea es despreciable si se compara con la totalidad de la estructura-soporte y el aumento del coste es mínimo. Por estos motivos es el método elegido para alcanzar el valor mínimo del factor de seguridad.

El diseño del elemento rigidizador (*Figura 8.113*), que se emplea en los ensayos, es el que se muestra a continuación:

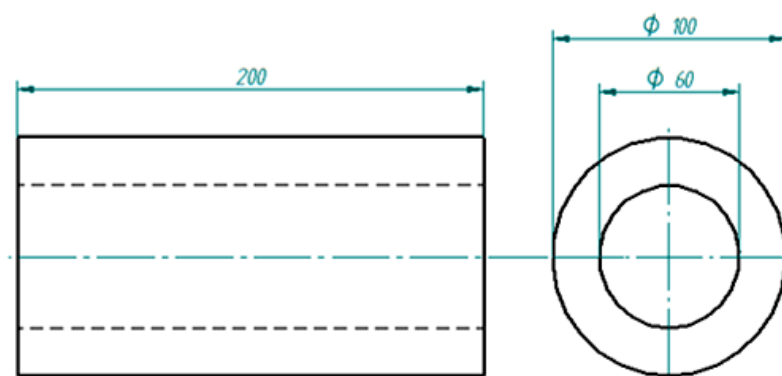


Figura 8.113: Elemento rigidizador empleado en la luminaria de 70W.

Dicho elemento rigidizador se debe localizar en la zona más crítica de la estructura-soporte de la luminaria de 70W. Observando los resultados obtenidos para esta estructura-soporte de la luminaria de 70W se deduce que la zona más crítica se halla en la parte inferior del báculo. Esta es la posición que se selecciona para colocar el elemento rigidizador y para comprobar si cumple así la estructura los requisitos.

La altura a la que se sitúa el punto medio del elemento rigidizador, medida desde la placa base, es de 1,220m.

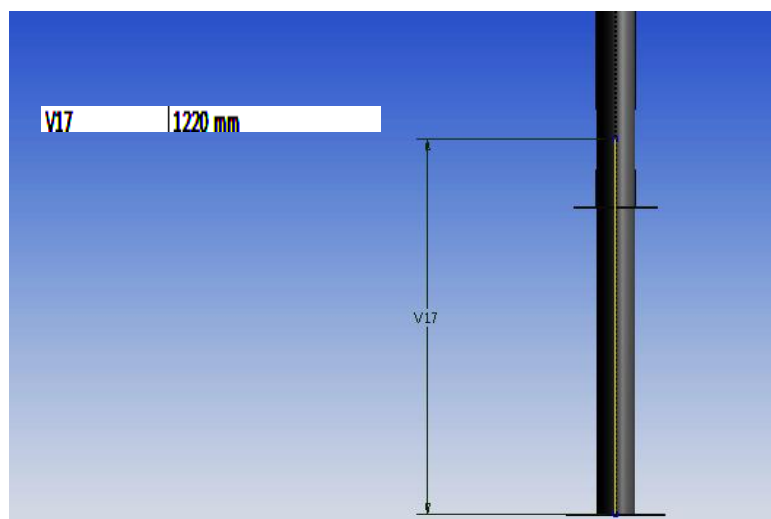


Figura 8.114: Posición del elemento rigidizador en el báculo de la estructura-soporte de la luminaria de 70W.

Finalmente se vuelven a repetir todos los ensayos para la estructura-soporte de la luminaria de 70W con el fin de comprobar que el factor de seguridad en todos los casos es superior a 1,2.

8.6.1. Resultados del ensayo de carga estática para la estructura-soporte de la luminaria de 70W con rigidizador:

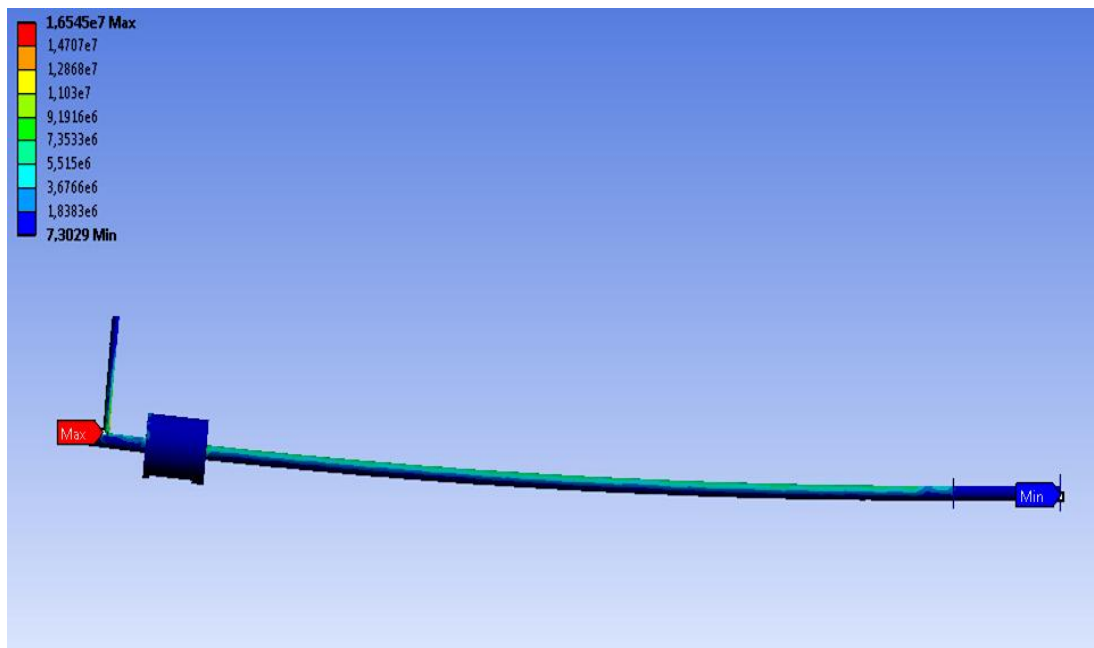


Figura 8.115: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

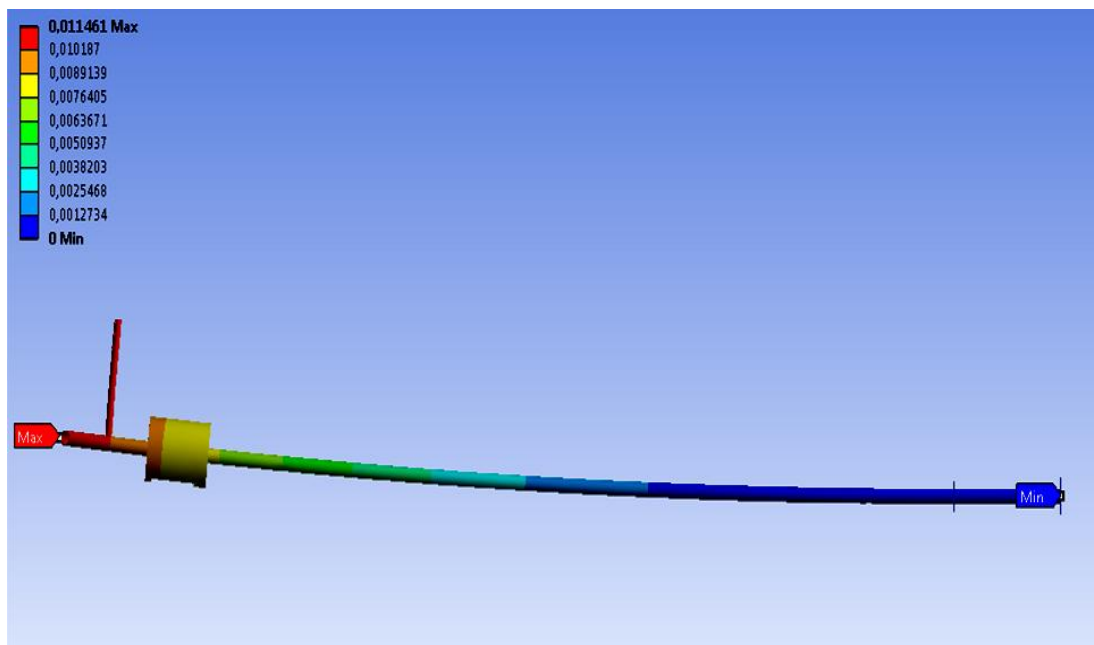


Figura 8.116: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

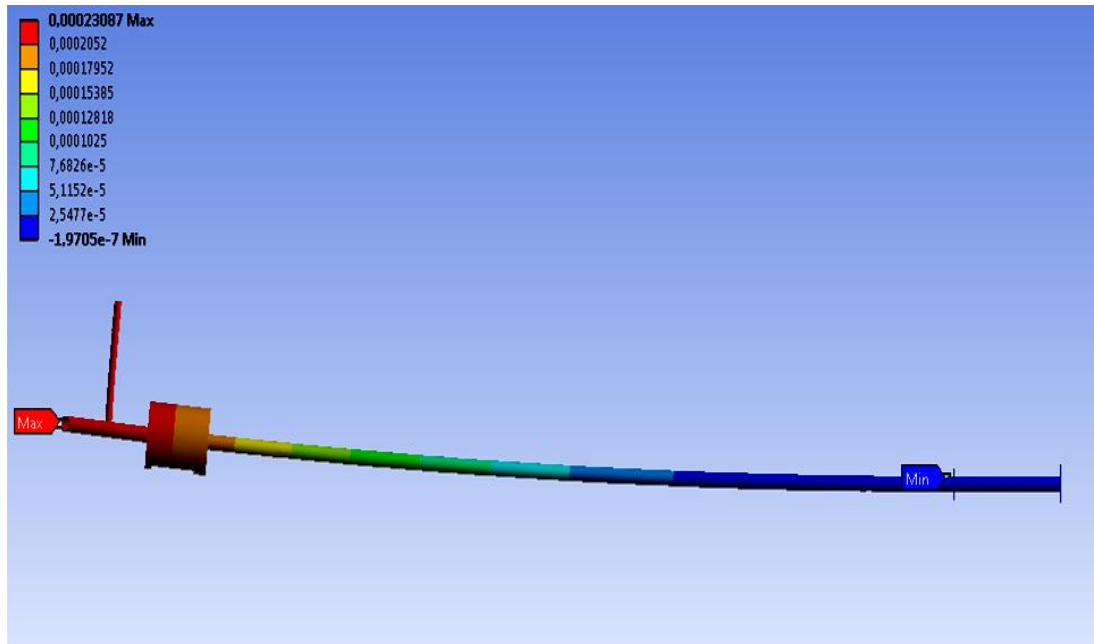


Figura 8.117: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

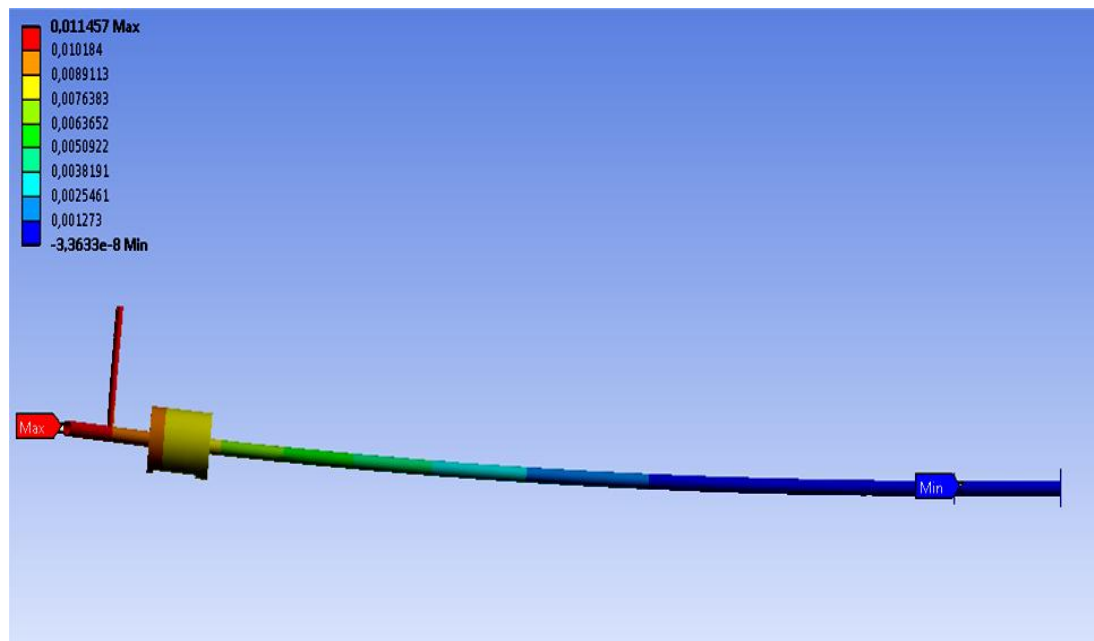


Figura 8.118: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

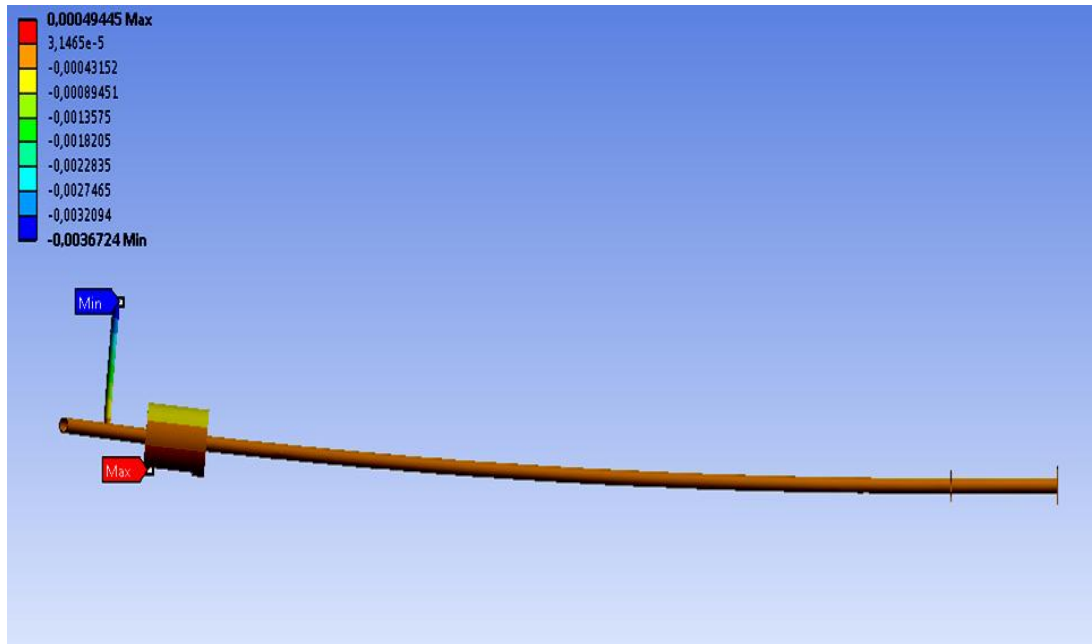


Figura 8.119: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

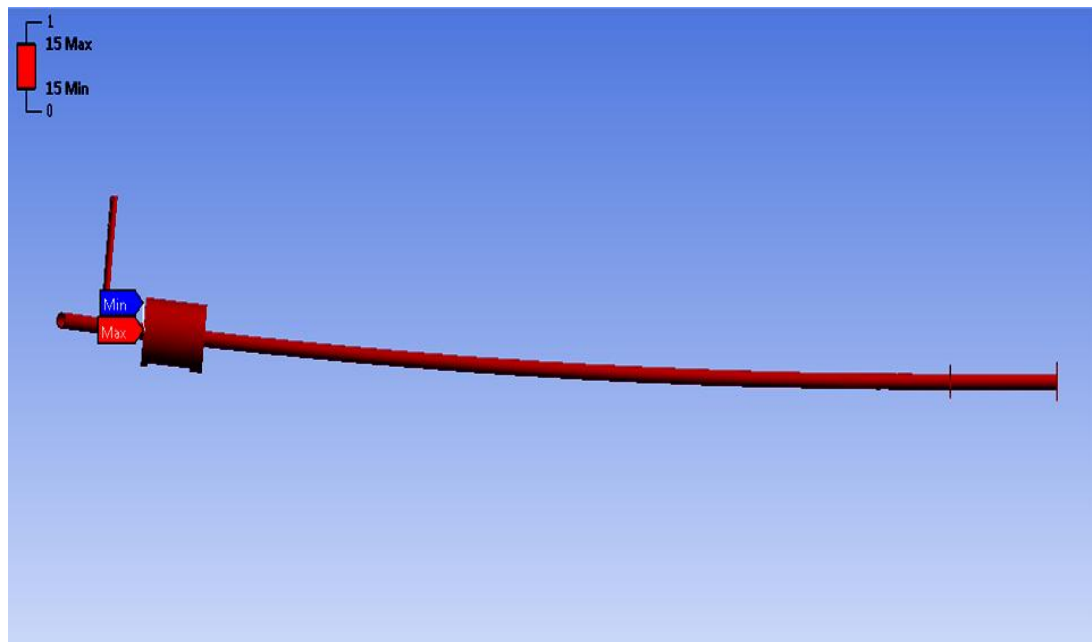


Figura 8.120: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

El punto de máxima tensión ($1,6545 \cdot 10^7 \text{ Pa}$), que es inferior al límite elástico del material, se localiza en la zona inferior de la unión que existe entre el brazo-soporte de la luminaria y el soporte del panel fotovoltaico. Dicho punto es un concentrador de tensiones. El punto de mínima tensión ($7,3029 \text{ Pa}$) se encuentra situado en la placa base debido a que ésta se encuentra cimentada.

El punto de máxima deformación total ($0,011461 \text{ m}$) se encuentra localizado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte, y el punto de mínima deformación total (0 m) se encuentra en la placa base debido a que ésta se encuentra cimentada.

El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje X ($0,00023087 \text{ m}$) está situado en la unión entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Y ($0,011457 \text{ m}$) está situado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Z ($0,00049445 \text{ m}$) está situado en la zona superior de la puerta de acceso al habitáculo de la batería.

Los factores de seguridad máximo y mínimo coinciden (15) y son mayores que 1,2.

8.6.2. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad paralela al suelo e incidente sobre la superficie libre del panel fotovoltaico para la estructura-soporte de la luminaria de 70W con rigidizador:

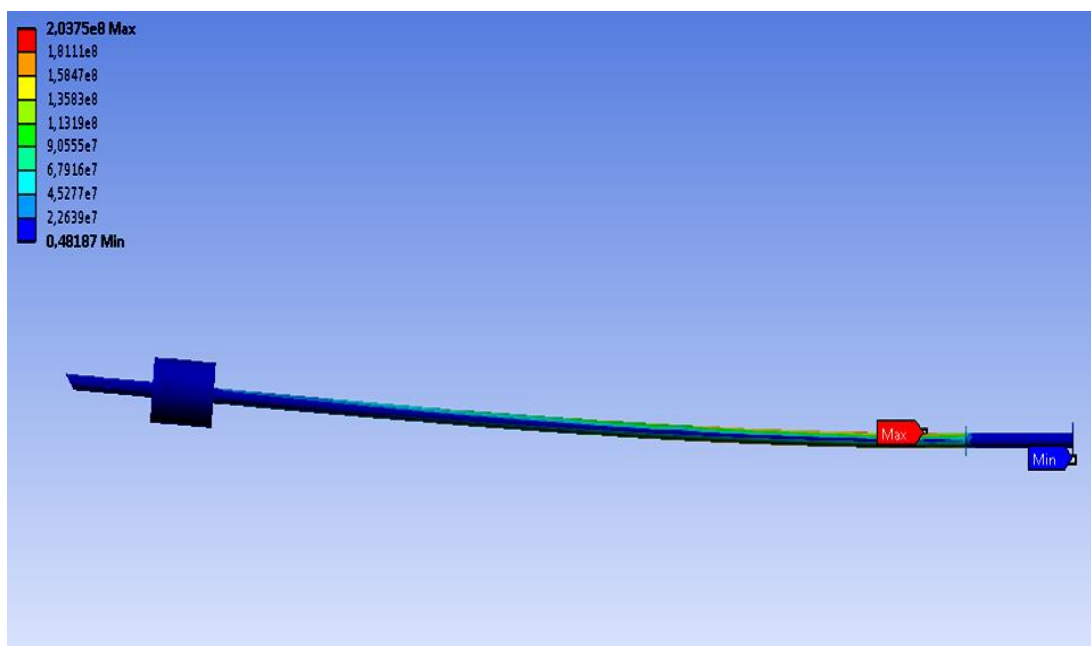


Figura 8.121: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

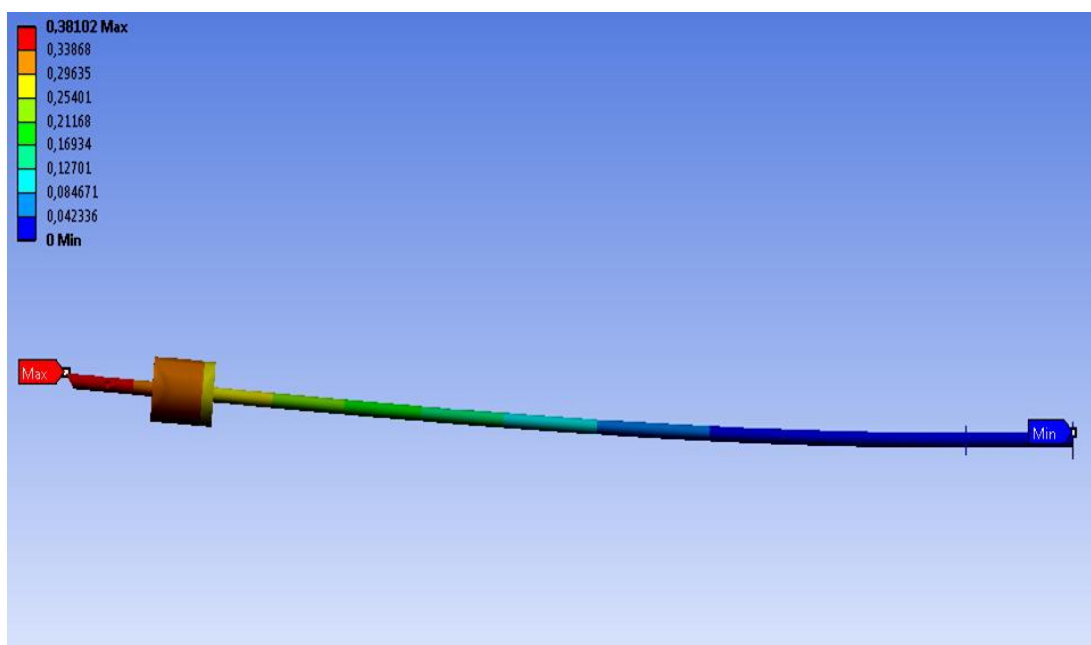


Figura 8.122: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

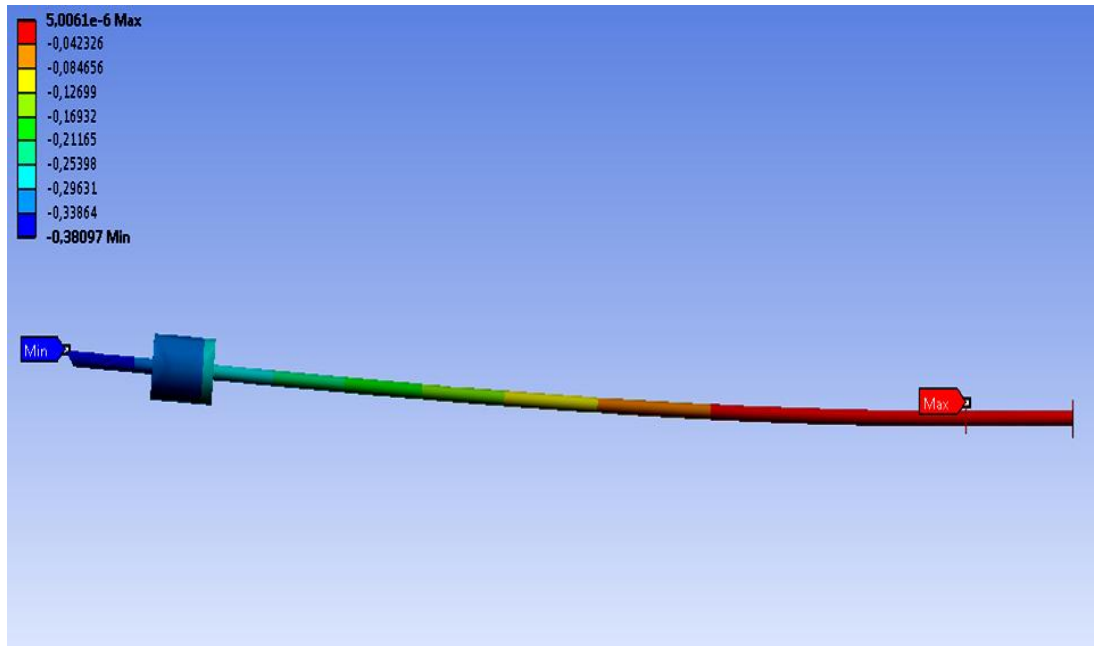


Figura 8.123: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

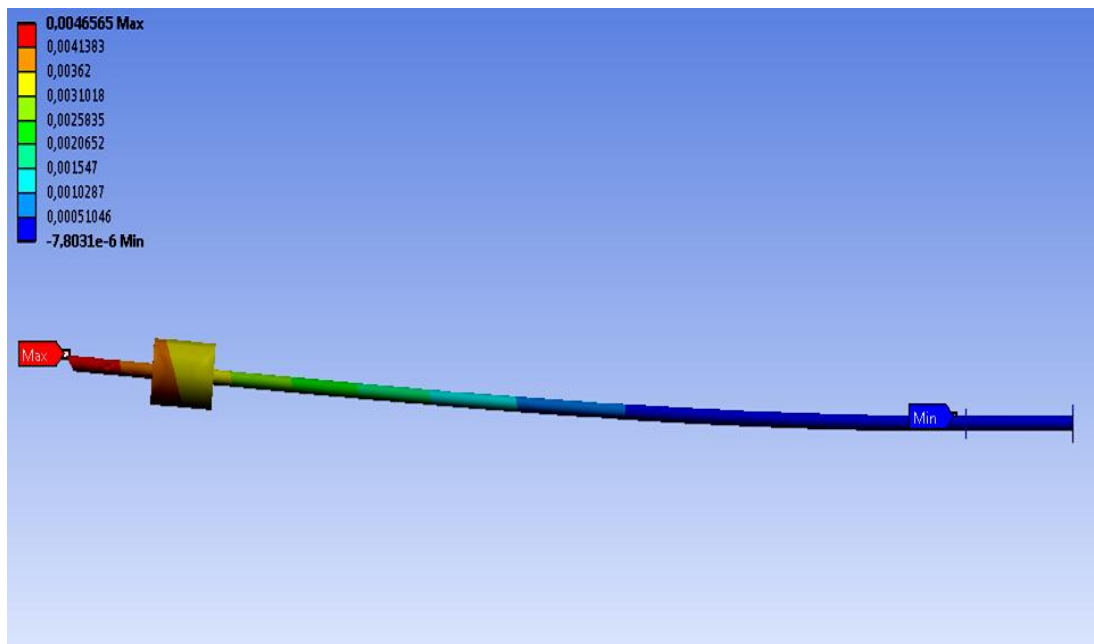


Figura 8.124: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

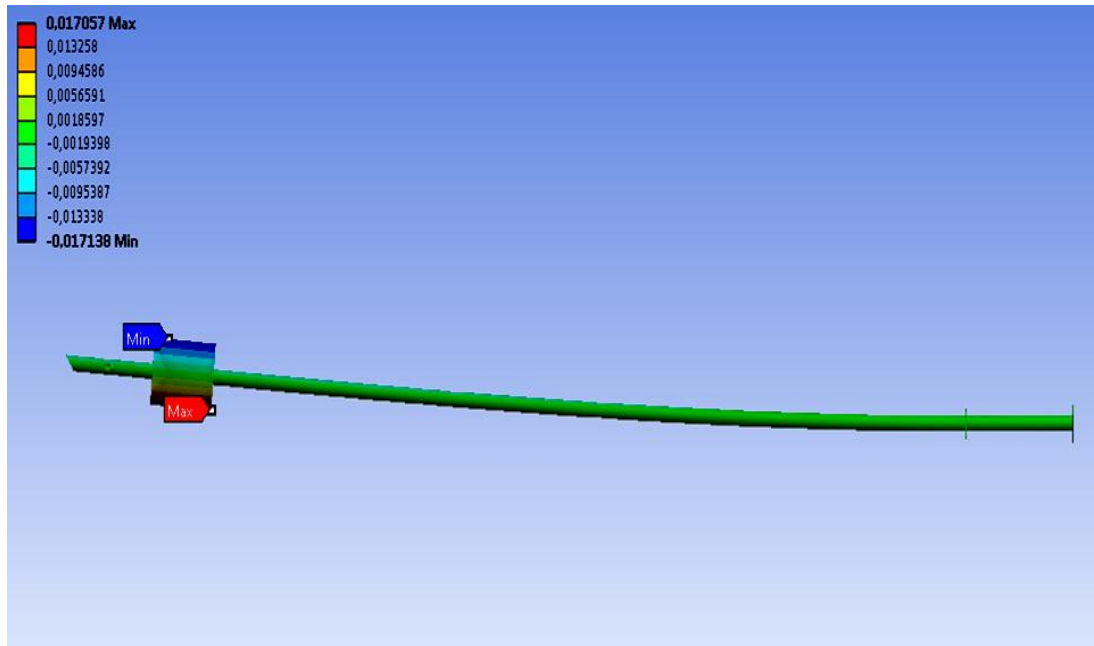


Figura 8.125: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

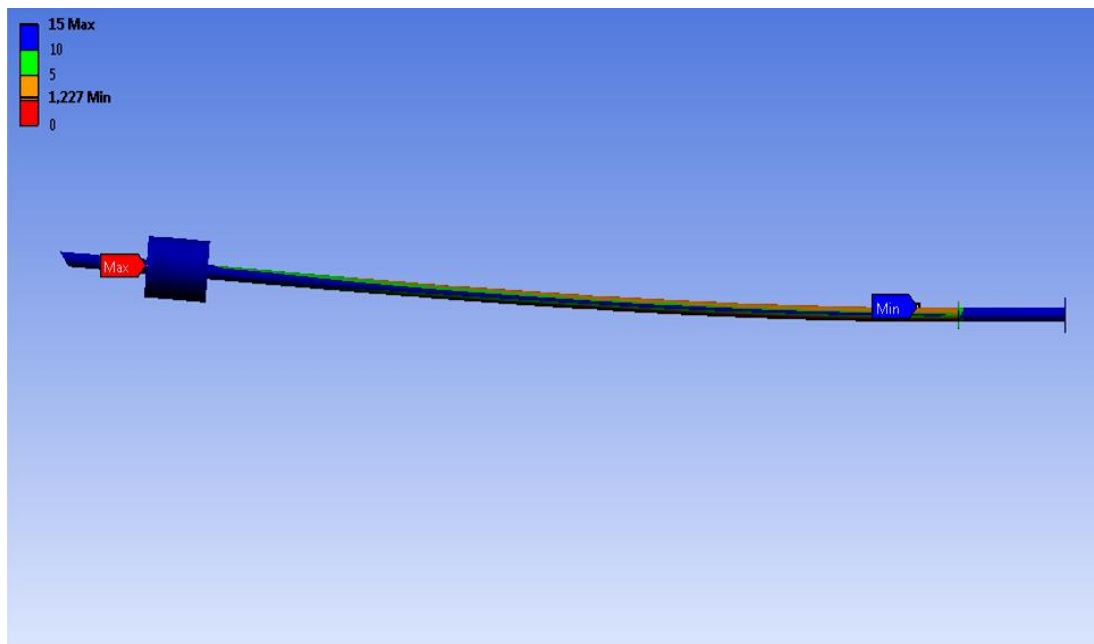


Figura 8.126: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

El punto de máxima tensión ($2,0375 \cdot 10^8 \text{Pa}$), que es inferior al límite elástico del material, se localiza en la parte inferior del báculo. El punto de mínima tensión ($0,48187 \text{Pa}$) se encuentra situado en la placa base debido a que ésta se encuentra cimentada.

El punto de máxima deformación total ($0,38102 \text{m}$) se encuentra localizado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte, y el punto de mínima deformación total (0m) se encuentra en la placa base debido a que ésta está cimentada.

El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje X ($5,0061 \cdot 10^{-6} \text{m}$) está situado en la parte inferior del báculo. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Y ($0,0046565 \text{m}$) está situado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Z ($0,057057 \text{m}$) está situado en el lateral del habitáculo de la batería.

El factor de seguridad mínimo ($1,227$) es mayor que $1,2$.

8.6.3. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad paralela al suelo e incidente sobre la superficie del panel fotovoltaico que se une a la estructura-soporte de la luminaria de 70W con rigidizador:

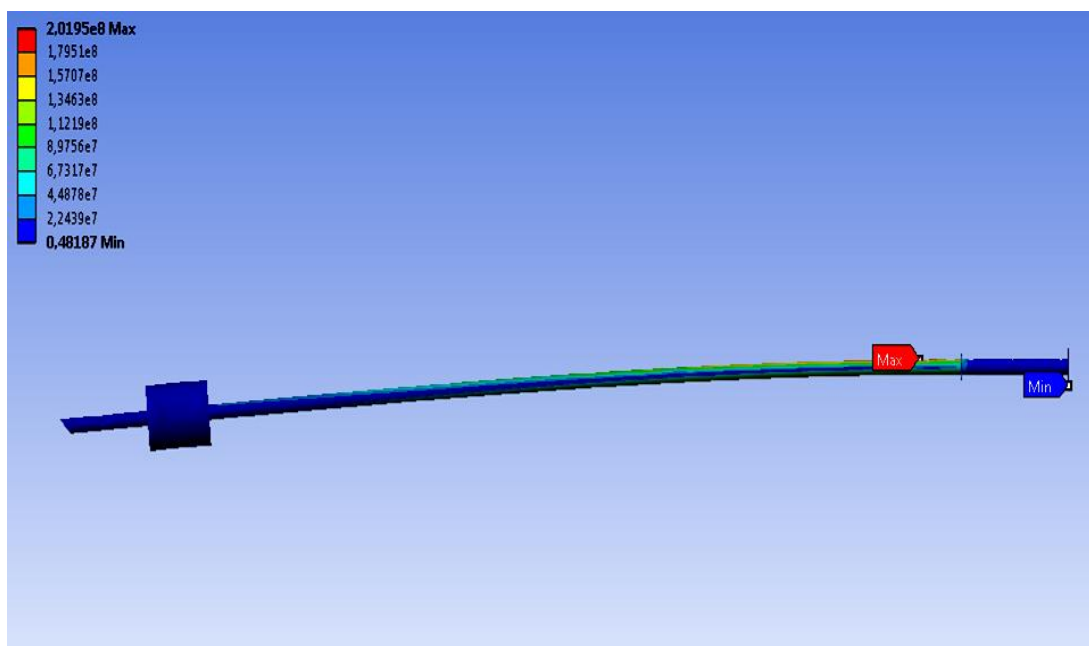


Figura 8.127: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

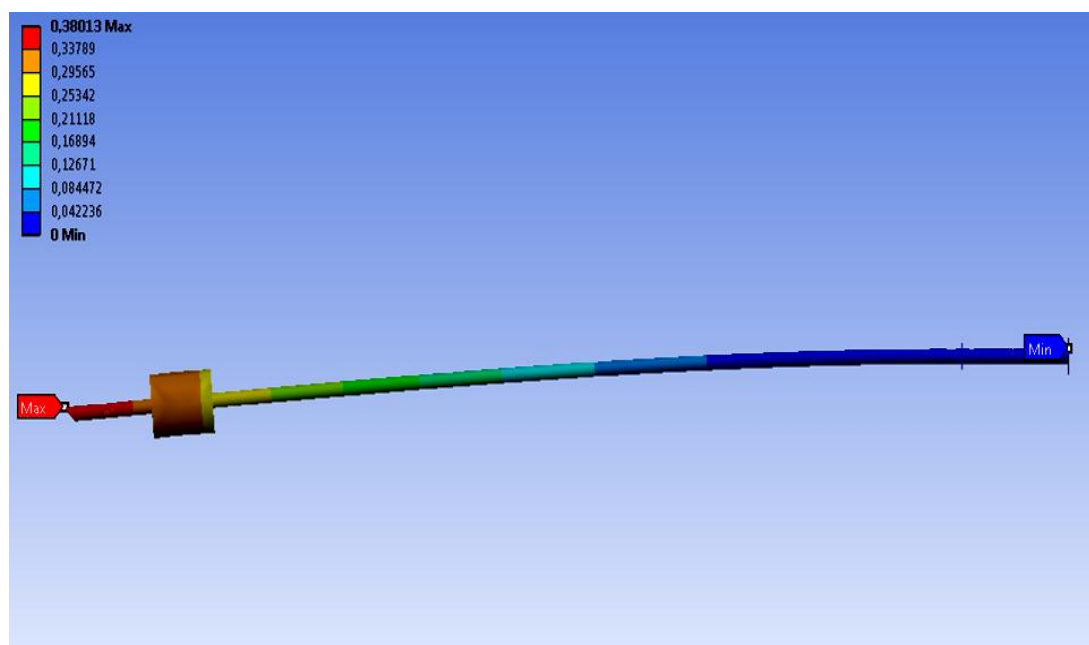


Figura 8.128: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

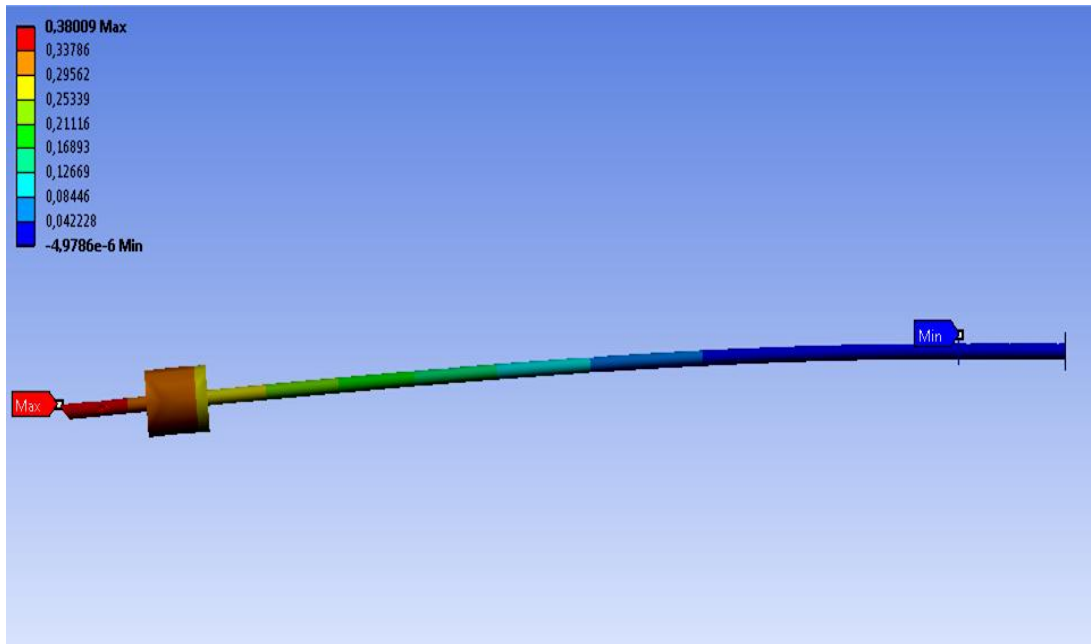


Figura 8.129: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

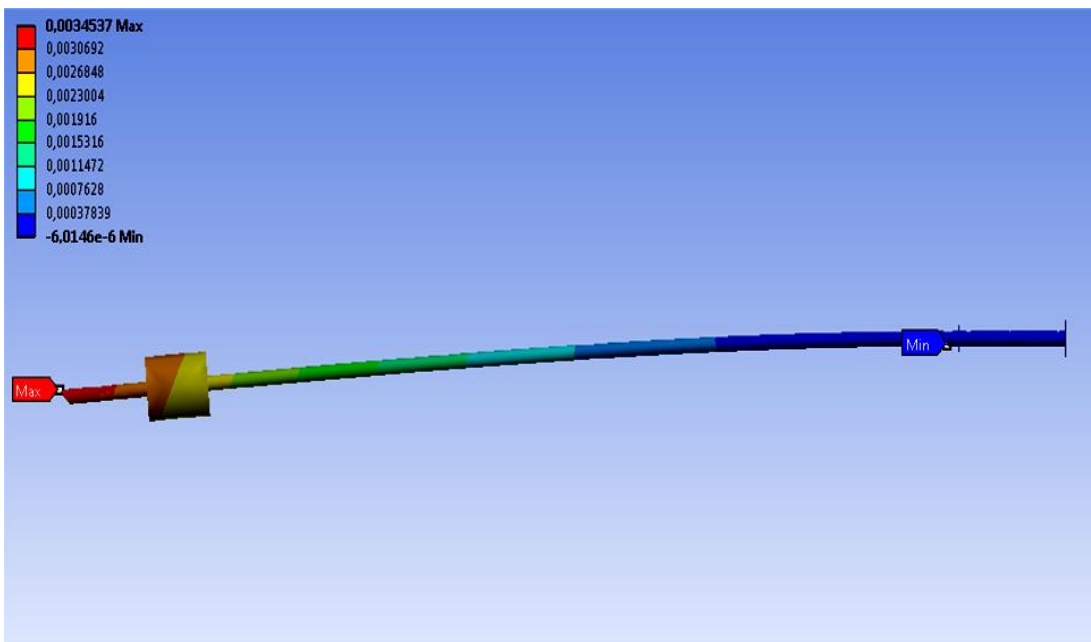


Figura 8.130: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

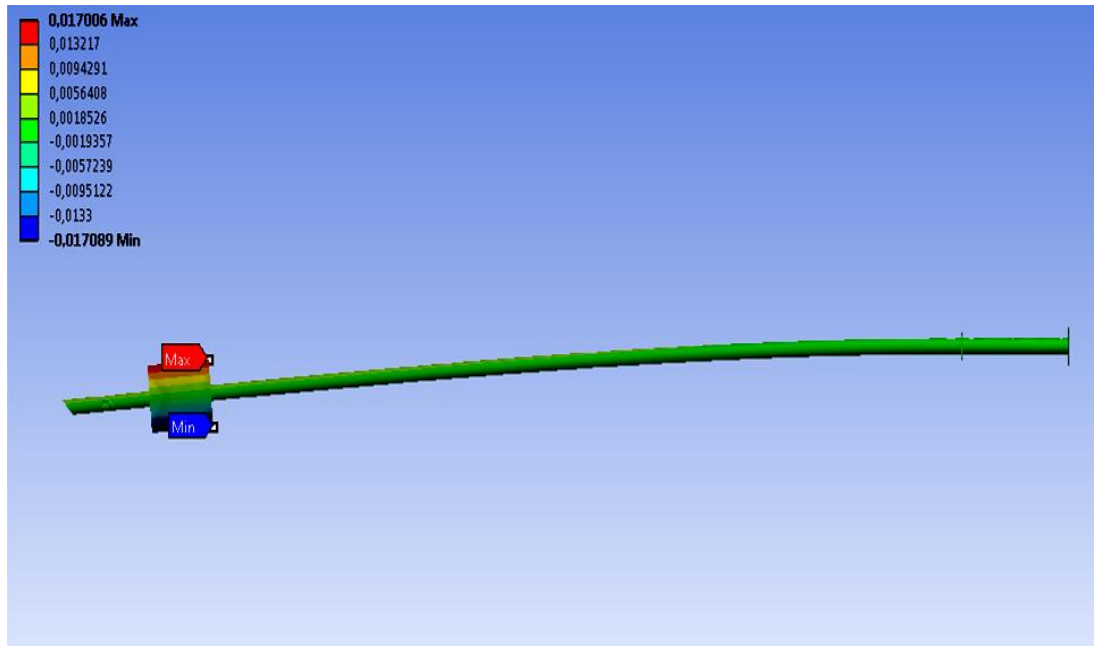


Figura 8.131: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

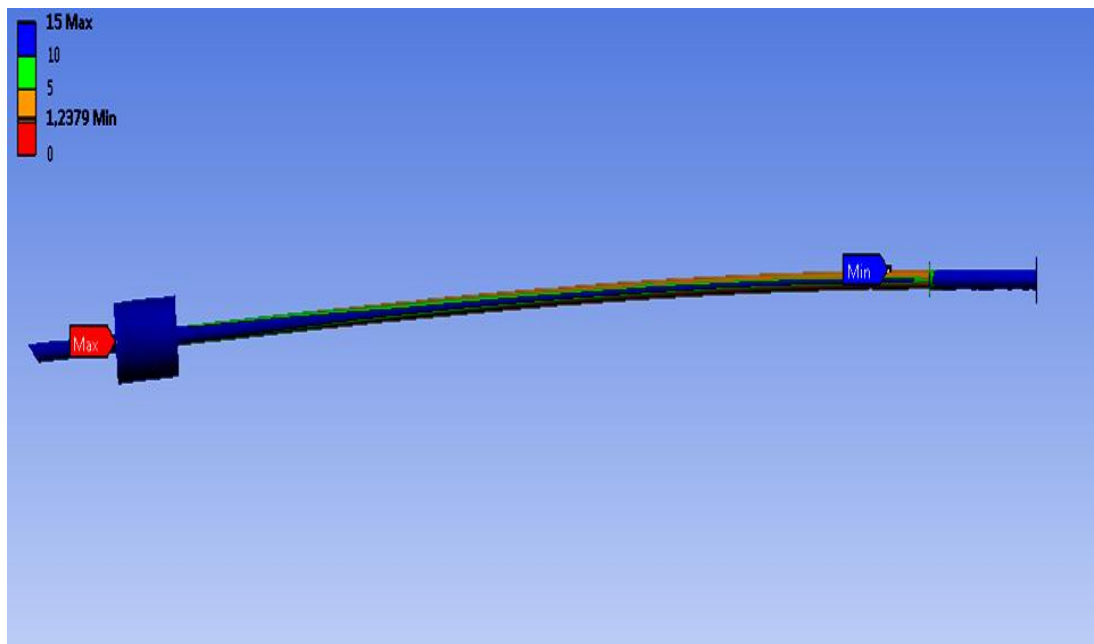


Figura 8.132: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

El punto de máxima tensión ($2,0195 \cdot 10^8 \text{Pa}$), que es inferior al límite elástico del material, se localiza en la parte inferior del báculo. El punto de mínima tensión ($0,48187 \text{Pa}$) se encuentra situado en la placa base debido a que ésta se encuentra cimentada.

El punto de máxima deformación total ($0,38013 \text{m}$) se encuentra localizado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte, y el punto de mínima deformación total (0m) se encuentra en la placa base debido a que ésta está cimentada.

El punto de máxima deformación direccional según el eje X ($0,38009 \text{m}$) está situado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional según el eje Y ($0,0034537 \text{m}$) está situado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional según el eje Z ($0,017006 \text{m}$) está situado en el lateral del habitáculo de la batería.

El factor de seguridad mínimo ($1,2379$) es mayor que $1,2$.

8.6.4. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad perpendicular al panel e incidente sobre la superficie libre del panel fotovoltaico para la estructura-soporte de la luminaria de 70W con rigidizador:

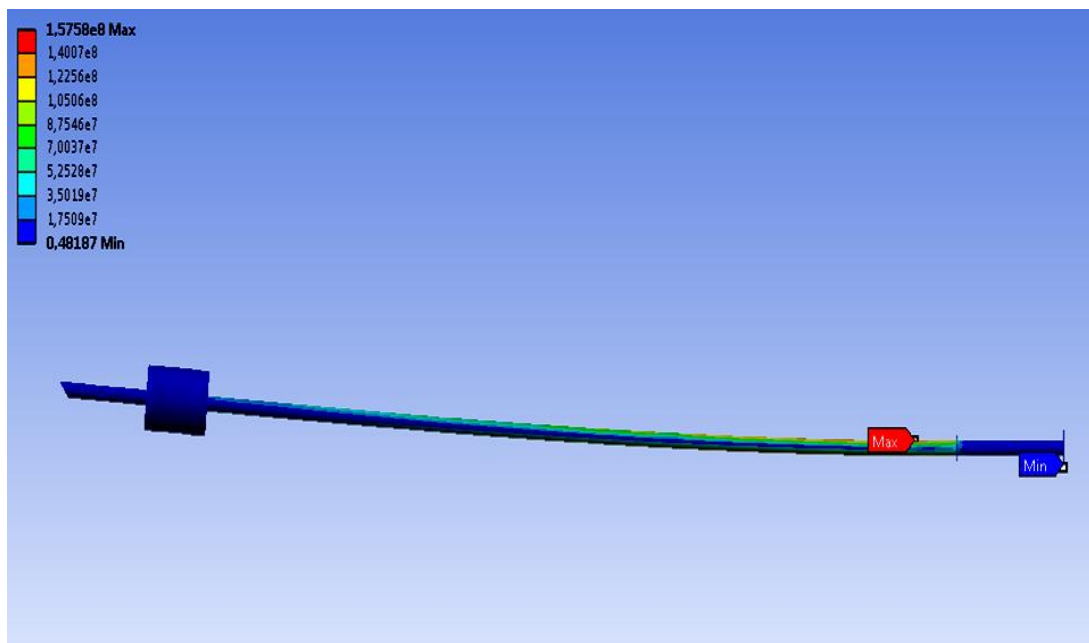


Figura 8.133: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

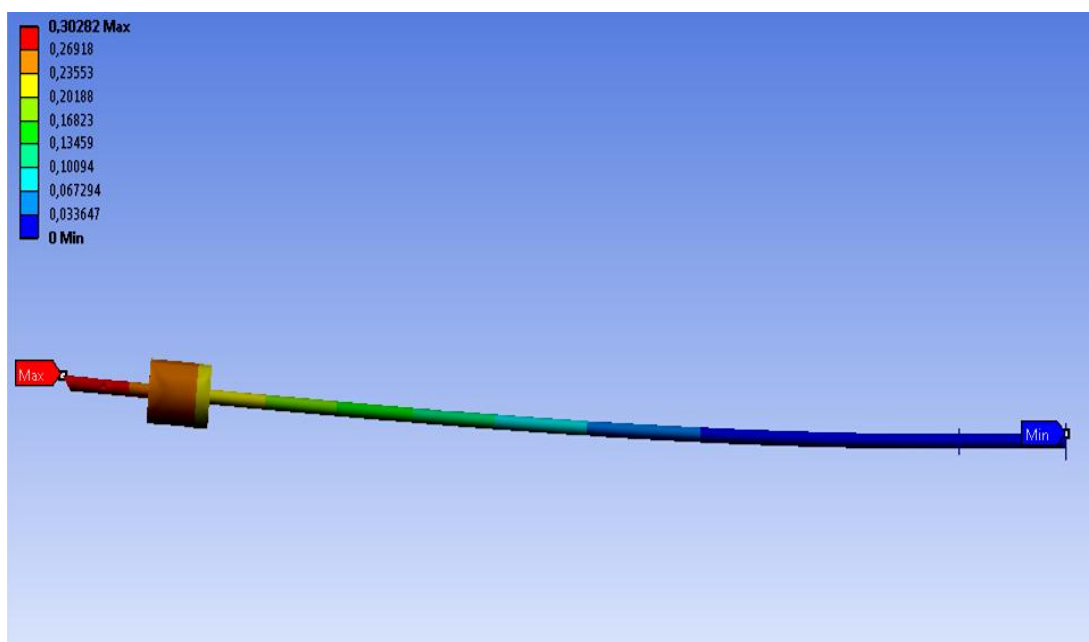


Figura 8.134: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

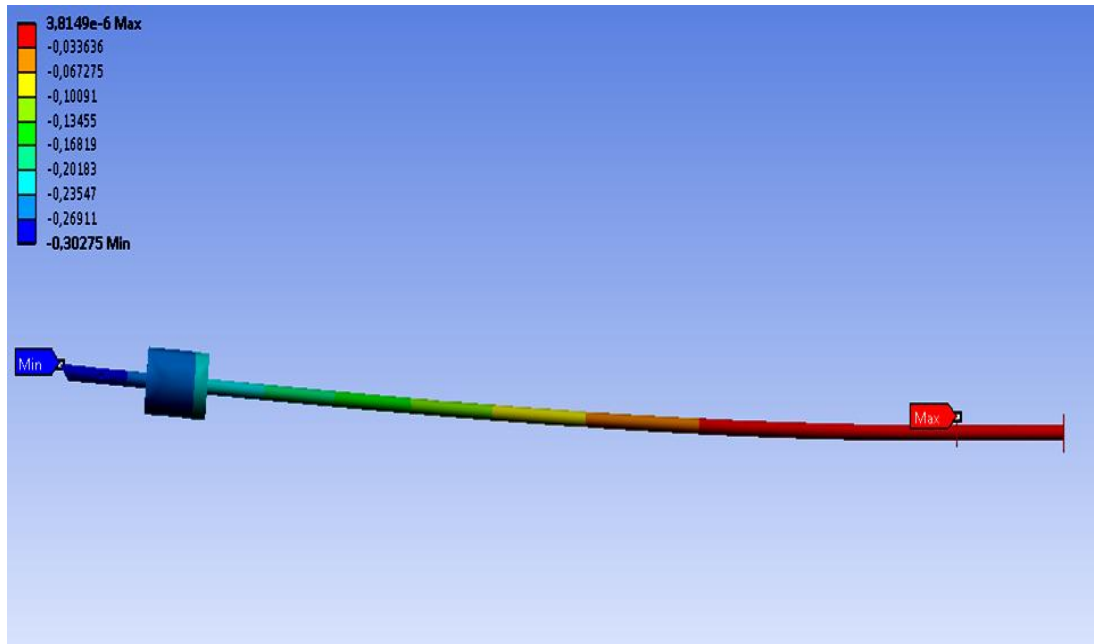


Figura 8.135: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

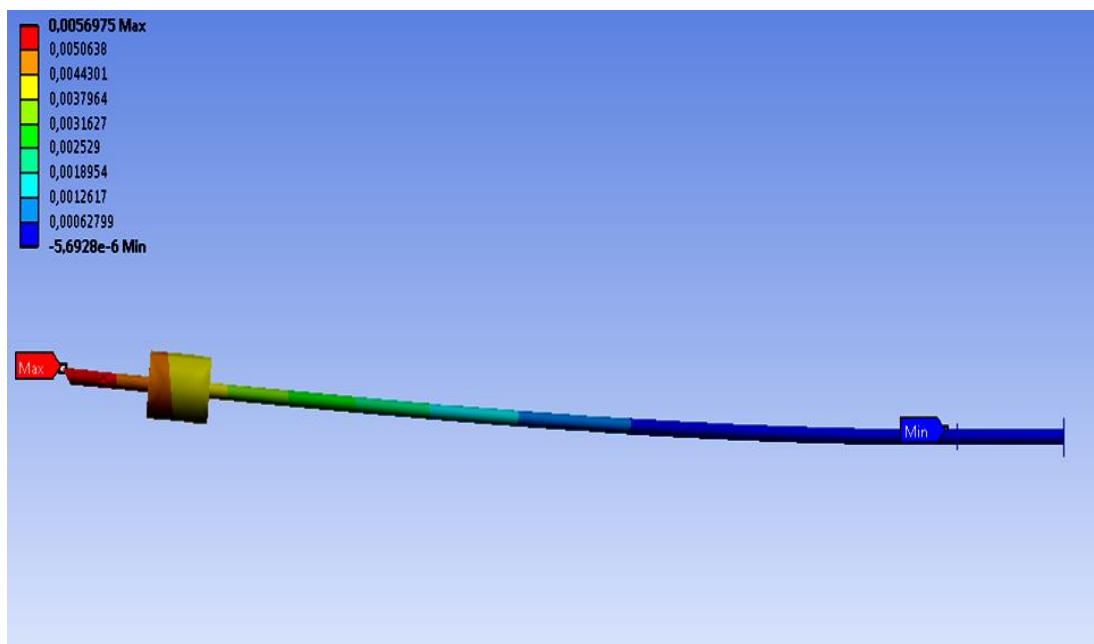


Figura 8.136: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

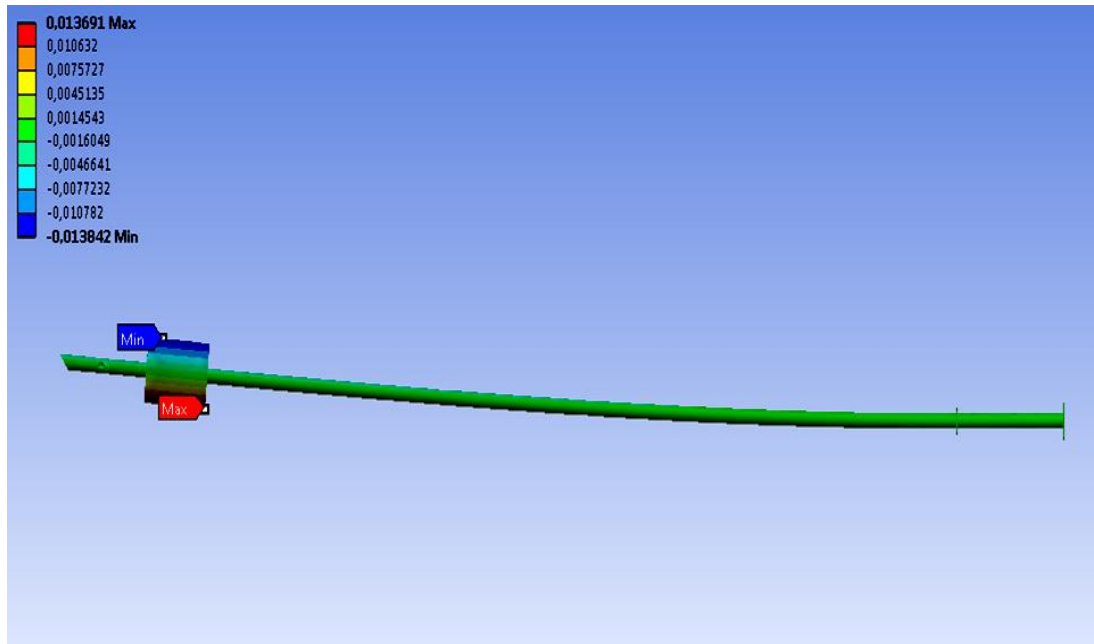


Figura 8.137: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

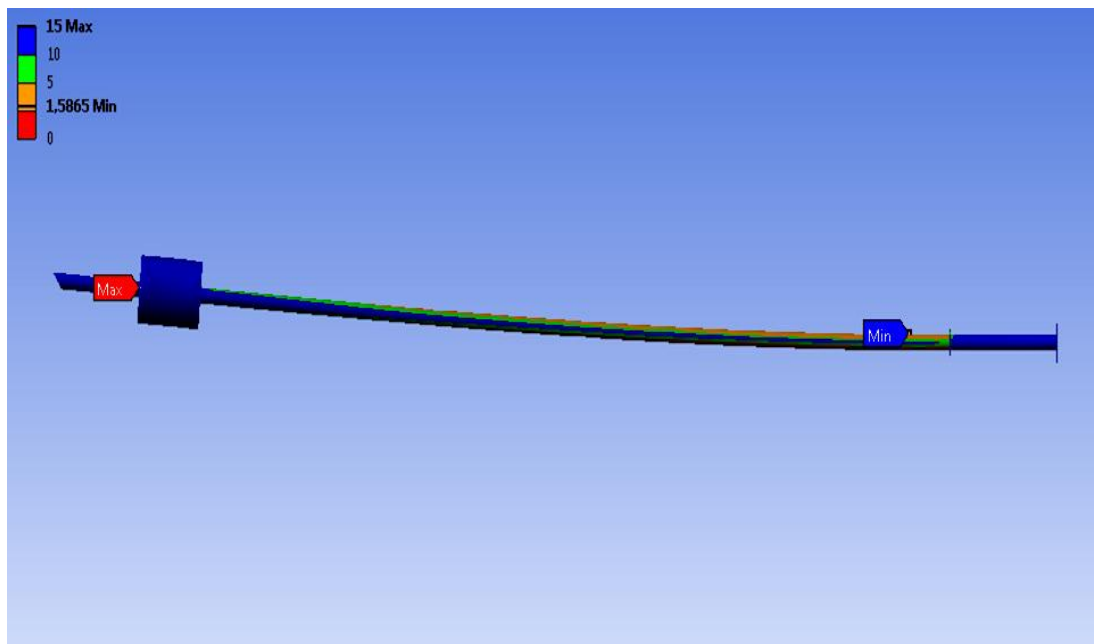


Figura 8.138: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

El punto de máxima tensión ($1,5758 \cdot 10^8 \text{Pa}$), que es inferior al límite elástico del material, se localiza en la parte inferior del báculo. El punto de mínima tensión ($0,48187 \text{Pa}$) se encuentra situado en la placa base debido a que ésta se encuentra cimentada.

El punto de máxima deformación total ($0,30282 \text{m}$) se encuentra localizado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte, y el punto de mínima deformación total (0m) se encuentra en la placa base debido a que ésta está cimentada.

El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje X ($3,8149 \cdot 10^{-6} \text{m}$) está situado en la parte inferior del báculo. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Y ($0,0056975 \text{m}$) está situado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Z ($0,013691 \text{m}$) está situado en el lateral del habitáculo de la batería.

El factor de seguridad mínimo ($1,5865$) es mayor que $1,2$.

8.6.5. Resultados del ensayo de viento con dirección de la velocidad perpendicular al panel e incidente sobre la superficie del panel fotovoltaico que se une a la estructura-soporte de la luminaria de 70W con rigidizador:

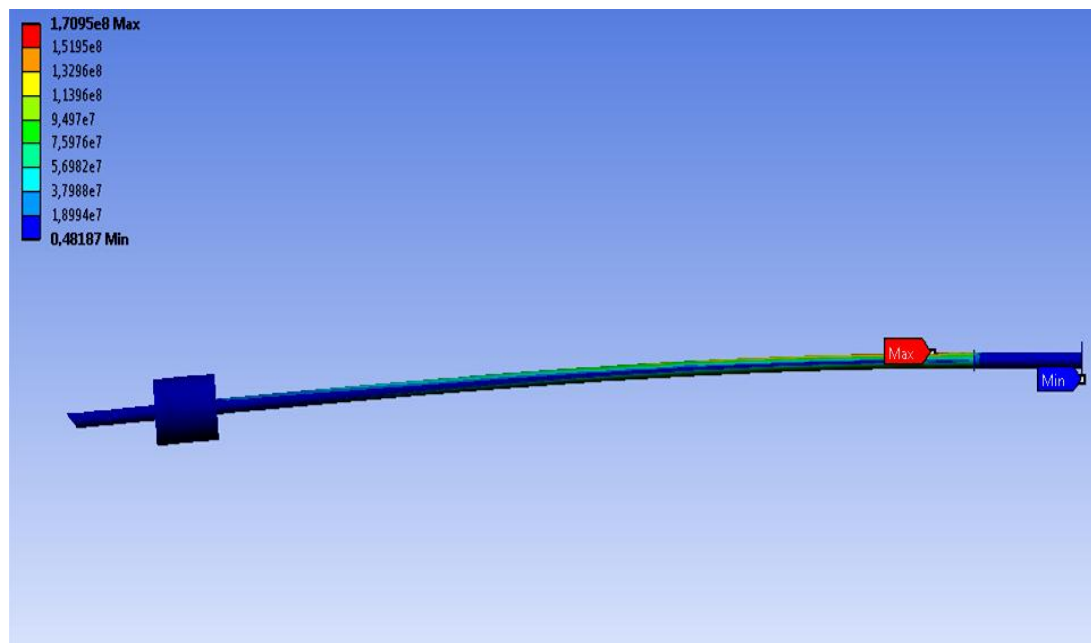


Figura 8.139: Valor máximo y mínimo de tensión que experimenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

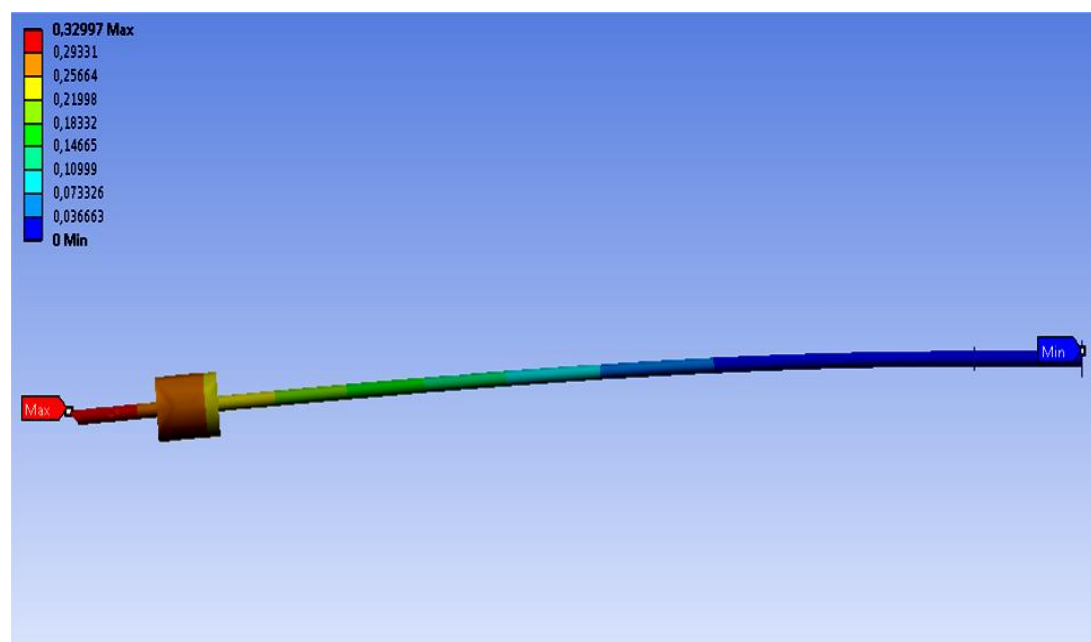


Figura 8.140: Valor máximo y mínimo de deformación total que padece la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

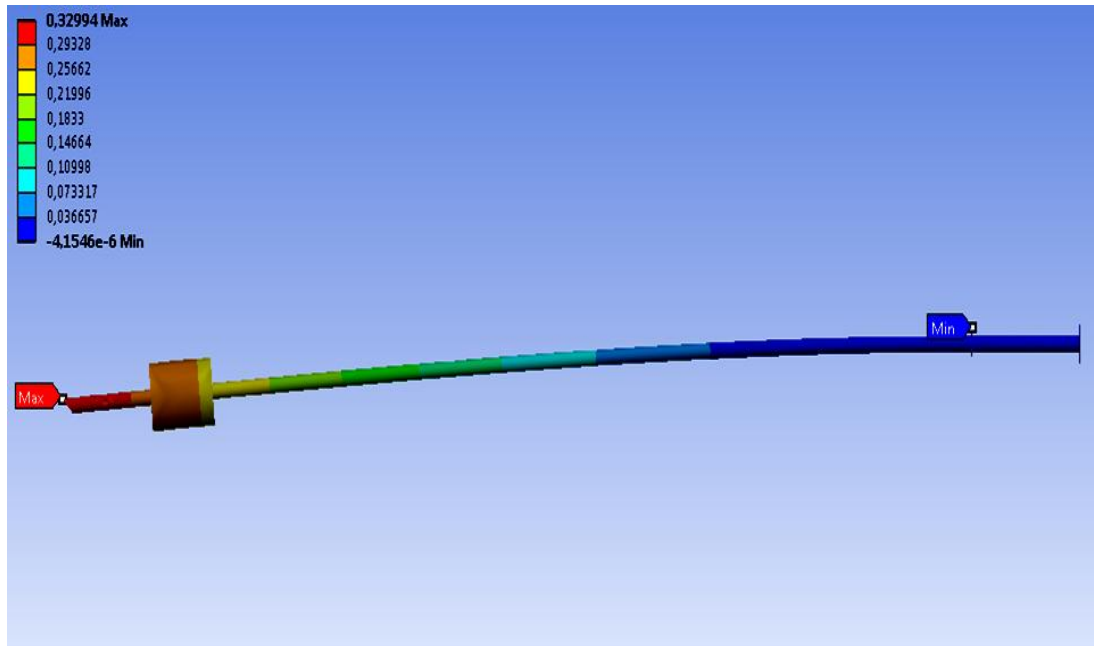


Figura 8.141: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje X que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

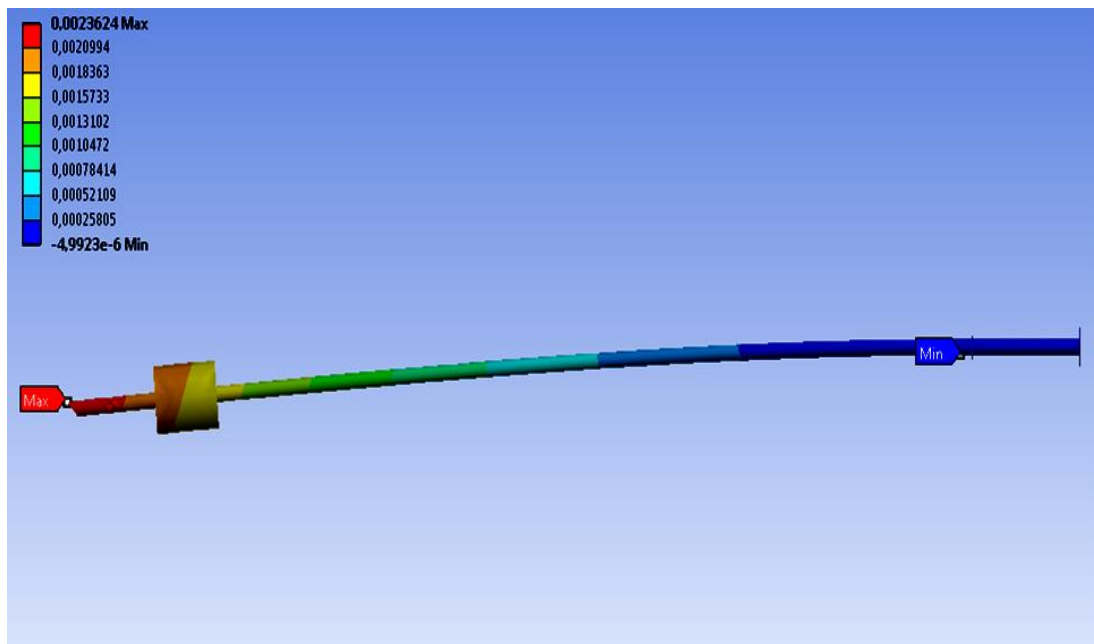


Figura 8.142: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Y que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

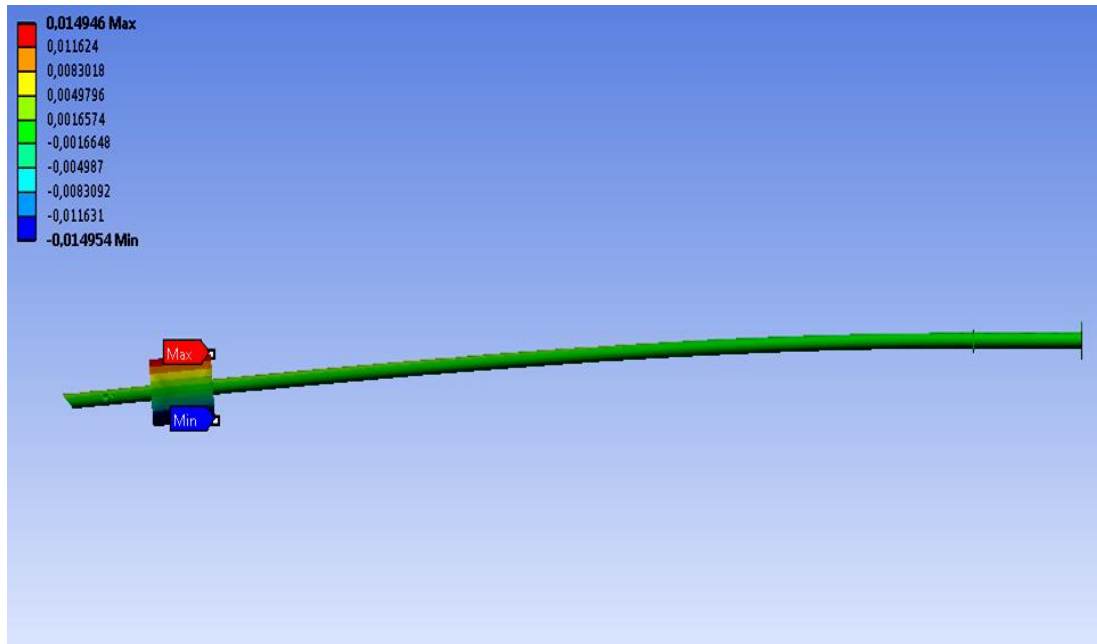


Figura 8.143: Valor máximo y mínimo de deformación direccional según el eje Z que sufre la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

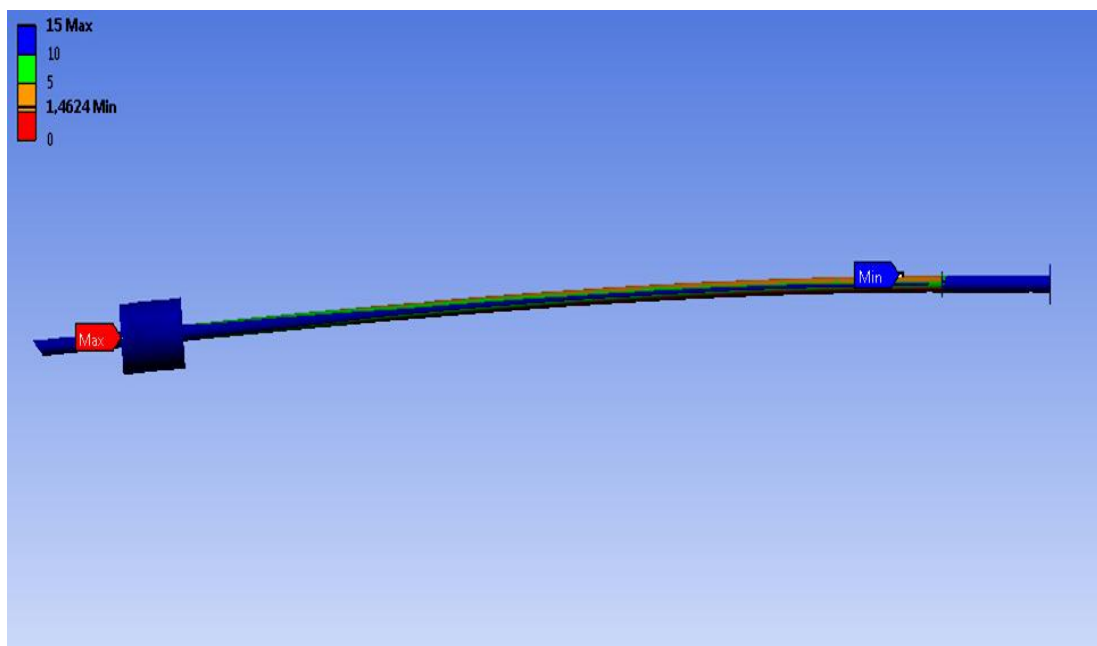


Figura 8.144: Valor máximo y mínimo del factor de seguridad que presenta la estructura-soporte en el caso de la luminaria de 70W.

El punto de máxima tensión ($1,7095 \cdot 10^8 \text{Pa}$), que es inferior al límite elástico del material, se localiza en la parte inferior del báculo. El punto de mínima tensión ($0,48187 \text{Pa}$) se encuentra situado en la placa base debido a que ésta se encuentra cimentada.

El punto de máxima deformación total ($0,32997 \text{m}$) se encuentra localizado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte, y el punto de mínima deformación total (0m) se encuentra en la placa base debido a que ésta está cimentada.

El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje X ($0,32994 \text{m}$) está situado en la unión que existe entre el panel fotovoltaico y su soporte. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Y ($0,0023624$) está situado en la parte inferior del báculo. El punto de máxima deformación direccional a tracción según el eje Z ($0,014946 \text{m}$) está situado en el lateral del habitáculo de la batería.

El factor de seguridad mínimo ($1,4624$) es mayor que $1,2$.

8.7. Resumen de ensayos de verificación:

Tabla 8.15: Resumen de los ensayos de verificación.

Farola solar	Ensayo	Factor de seguridad mínimo
3 metros	Carga estática	15
	Velocidad de viento paralela al suelo e incidente sobre la superficie libre del panel fotovoltaico	5,7078
	Velocidad de viento paralela al suelo e incidente sobre la superficie del panel fotovoltaico unida a la estructura-soporte	5,8884
	Velocidad de viento perpendicular al panel fotovoltaico e incidente sobre la superficie libre del panel fotovoltaico	7,7784
	Velocidad de viento perpendicular al panel fotovoltaico e incidente sobre la superficie del panel fotovoltaico unida a la estructura-soporte	7,0976
6 metros	Carga estática	15
	Velocidad de viento paralela al suelo e incidente sobre la superficie libre del panel fotovoltaico	2,5191
	Velocidad de viento paralela al suelo e incidente sobre la superficie del panel fotovoltaico unida a la estructura-soporte	2,5824
	Velocidad de viento perpendicular al panel fotovoltaico e incidente sobre la superficie libre del panel fotovoltaico	3,5755
	Velocidad de viento perpendicular al panel fotovoltaico e incidente sobre la superficie del panel fotovoltaico unida a la estructura-soporte	3,3013
8 metros	Carga estática	15
	Velocidad de viento paralela al suelo e incidente sobre la superficie libre del panel fotovoltaico	1,227
	Velocidad de viento paralela al suelo e incidente sobre la superficie del panel fotovoltaico unida a la estructura-soporte	1,2379
	Velocidad de viento perpendicular al panel fotovoltaico e incidente sobre la superficie libre del panel fotovoltaico	1,5865
	Velocidad de viento perpendicular al panel fotovoltaico e incidente sobre la superficie del panel fotovoltaico unida a la estructura-soporte	1,4624

- **NOTA:** los factores de seguridad mínimos de los ensayos reflejados en la tabla para el diseño de la luminaria de 70W se corresponden con los obtenidos empleando el elemento rigidizador.

Capítulo 9

Conclusiones y trabajos futuros

9.1. Conclusiones:

Se puede concluir afirmando que se han superado con éxito todos y cada uno de los objetivos propuestos al comienzo del proyecto. Se ha cumplido el objetivo principal que consistía en diseñar y analizar, según la normativa vigente en España, tres estructuras-soporte para farolas solares para luminarias de distintas potencias (30W, 40W y 70W) y con distintas alturas de montaje de luminaria (3m, 6m y 8m), para su ubicación en Merzouga, ciudad situada en Marruecos, país que carece de normativa vinculada a este tipo de proyecto.

La consecución del proyecto ha sido posible gracias al cumplimiento de los siguientes objetivos:

- Recopilación, estudio y selección de la normativa sobre farolas solares que se ha aplicado para el diseño y el análisis de las tres estructuras-soporte.
- Fijación de los diferentes componentes y parámetros dimensionales de las estructuras-soporte de las farolas solares según la normativa establecida. Además del análisis de sistemas análogos, se utilizó el programa PVsyst para seleccionar el panel fotovoltaico y la batería de cada modelo.
- Proposición e implementación de cada uno de los tres diseños en sus respectivos modelos 3D. Estos modelos 3D se desarrollaron sobre el programa informático Solid Edge.
- Análisis estructural de los tres modelos propuestos. Los análisis se realizaron con el módulo Workbench de Ansys.
- Verificación de la adecuación de cada uno de los tres modelos a la normativa vigente en España.

A nivel técnico, se ha asignado una batería y un panel fotovoltaico a cada modelo planteado evitando que dichas farolas necesiten de generadores auxiliares para cumplir los requisitos impuestos por el cliente. Las dimensiones de los componentes elegidos con el programa PVsyst han sido críticos en los diseños y, posteriormente en los ensayos de verificación.

Los resultados obtenidos con el módulo Workbench de Ansys ofrecen una solución suficientemente exacta a pesar de que estos modelos no están exentos de simplificaciones y particularidades que deben ser analizadas con ensayos reales. Resaltar idoneidad de este programa para la verificación de análisis de este tipo.

Para realizar los diseños de farolas solares y los respectivos análisis se asignaron como componentes adicionales los que se muestran en la Tabla 9.1.

Tabla 9.1: Componentes asignados para cada estructura-soporte [25-28].

Luminaria	Panel fotovoltaico	Batería
3m	GES-6P70 GESOLAR	OPz Solar 70 Exide Classic
6m	GES-M75 GESOLAR	OPz Solar 140 Exide Classic
8m	PL 800 D EUROSOLARE	OPz Solar 210 Exide Classic

Para realizar los análisis de forma más realista se diseñaron dos placas para simular sobre ellas el peso de las baterías elegidas y la carga estática que debía soportar cada luminaria durante la realización de los ensayos de carga estática.

Dentro del apartado de resultados técnicos, también hay que destacar que la estructura-soporte para la luminaria de 70W ha requerido la instalación de un elemento rigidizador situado en el interior del báculo en su zona crítica para conseguir elevar el factor de seguridad por encima del 1,2. En el resto de casos, el factor de seguridad sobrepasaba un valor de 2.

En ningún caso los resultados obtenidos con los modelos se deben tomar como una solución exacta, sino como una aproximación a la realidad. Estos modelos tienen que volver a ser ensayados una vez fabricados para corroborar lo obtenido mediante simulación de elementos finitos.

Otras aportaciones de este proyecto que quisiera resaltar el autor son:

- Se proporciona una metodología original y específica para diseñar estructuras-soporte para farolas solares.
- Se aportan unos diseños originales de farolas solares.

- Se incorporan (en un anexo) recomendaciones sobre elementos electrónicos que pueden emplearse para poner en funcionamiento los modelos propuestos.

9.2. Trabajos futuros:

Este proyecto abre la puerta a la realización de una gran cantidad de estudios o proyectos futuros que lo complementen. Algunos de ellos son:

- Realizar diferentes estudios para la sustitución de los paneles fotovoltaicos y de las baterías a medida que la tecnología se queda obsoleta. Con el transcurso del tiempo la técnica y la investigación mejora y surgen paneles fotovoltaicos y baterías que ocupan menor tamaño y tienen menor masa.
- Llevar a cabo distintos proyectos para la sustitución de los componentes electrónicos a medida que la tecnología se desarrolla. Aunque en el anexo se proporcionan recomendaciones sobre distintos elementos electrónicos que se pueden emplear para poner los modelos en funcionamiento, estos también quedan obsoletos con el paso del tiempo.
- Este proyecto se ha limitado a los ensayos mecánicos sobre las estructuras-soporte para las farolas solares propuestas. Sin embargo, también se deben hacer ensayos térmicos sobre los modelos para estudiar su comportamiento.
- Simular el ensayo de la puerta de acceso de una luminaria integrada en una columna según la normativa vigente en España.
- Llevar a cabo estudios de viabilidad y de presupuesto para su fabricación.
- Construir físicamente las estructuras-soporte de las farolas solares diseñadas.
- Contrastar mediante pruebas físicas sobre los modelos ya fabricados los diferentes ensayos que se han simulado a lo largo del proyecto.
- Realizar los diversos ensayos vigentes que garanticen un comportamiento adecuado tras la fabricación (cubierta de cristal, cableado interno, protección contra choques eléctricos, endurecimiento y calentamiento, resistencia a la penetración del polvo y humedad, resistencia al aislamiento y rigidez dieléctrica, resistencia al fuego y a las corrientes superficiales, etc.).
- Estudiar la cimentación requerida para la fijación en el lugar de instalación.
- Normalizar los orificios de los tornillos.

Capítulo 10

Presupuesto

El coste del presente proyecto se basa principalmente en el coste del personal y de los equipos necesarios. Dicho proyecto ha tenido una duración de **4,5 meses**.

El coste del personal se corresponde con el trabajo realizado por un ingeniero durante la duración del proyecto (4,5 meses) con un número medio de horas mensual de 50 horas y un coste por hora de **40€/hora**.

El equipo necesario para la ejecución es un ordenador personal con licencias actualizadas de los programas informáticos Ansys y Solid Edge. El programa informático PVsyst se puede utilizar gratuitamente en modo de prueba durante 10 días.

El proyecto no requiere ninguna tarea subcontratada. Siendo los **gastos indirectos** el **10%** del total.

Teniendo en cuenta todos estos datos y según el desglose que se adjunta a continuación, se ha determinado que el presupuesto total de este proyecto asciende a la siguiente cantidad: **12572,4€**.

PRESUPUESTO DEL PROYECTO:

- **Autor:** Gonzalo Colino Alonso
- **Departamento:** Ingeniería Mecánica
- **Descripción del proyecto:**
 - **Título:** Diseño y análisis mecánico de estructuras-soporte para farolas solares
 - **Duración:** 4,5meses
- **Tasa de costes indirectos:** 10%
- **Presupuesto total del proyecto:** 12572,4€
- **Coste personal:**

Apellidos y nombre	N.I.F. (sólo a título informativo)	Categoría	Dedicación (horas/mes)	Coste mes (€)	Coste total (€)	Firma de conformidad
Gonzalo Colino Alonso	XXXXXXXX	Ingeniero	50	2000	9000	
					9000	

- **Coste equipo:**

Descripción	Coste (€)	%Uso dedicado al proyecto	Dedicación (meses)	Periodo de depreciación (meses)	Coste imputable (€)*
Ordenador personal	700	70	4	36	54,45
Licencia de Ansys	27000	50	2	12	2250
Licencia de Solid Edge	5000	30	1	12	125
					2429,45

*) Fórmula de cálculo del coste imputable: $A/B \times C \times D$

A = nº de meses desde la fecha de facturación en que el equipo es utilizado.

B= período de depreciación.

C = coste del equipo (sin IVA).

D = % del uso que se dedica al proyecto.

- **Resumen de costes:**

	Presupuesto (€)
Personal	9000
Coste imputable	2429,45
Costes indirectos	1142,95
Coste total	12572,4

Capítulo 11

Bibliografía

- [1] REGLAMENTO ELECTRÓNICO DE BAJA TENSIÓN (2004)
- [2] NORMA ITC-BT-09 “INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR.” (2004)
- [3] NORMA UNE-EN 21123-2 “CABLES CON AISLAMIENTO DE POLIETILENO RETICULADO Y CUBIERTA DE POLICLORURO DE VINILO.” (2010)
- [4] NORMA IEC 60502-1 “CABLES DE TENSIÓN ASIGNADA DE 1kV ($U_m=1,2\text{kV}$) A 3kV ($U_m=3,6\text{kV}$).” (2009)
- [5] NORMA UNE-EN 40-2 “COLUMNAS Y BÁCULOS DE ALUMBRADO. REQUISITOS GENERALES Y DIMENSIONES.” (2006)
- [6] NORMA UNE-EN 60598-2-3 “LUMINARIAS PARA ALUMBRADO PÚBLICO. REQUISITOS PARTICULARES.” (2003)

- [7] PVsyst_Tutorials (2014)
Autores: André Mermoud y Bruno Wittmer
Página para descargar de forma gratuita:
http://www.pvsyst.com/images/pdf/PVsyst_Tutorials.pdf

- [8] Part and Assembly Modeling with ANSYS Design Modeler 14 (2015)
Autores: Huei-Huang Lee
Página para descargar de forma gratuita:
<https://dl.dropboxusercontent.com/u/42872562/ADM14/ADM14.pdf>

- [9] Introducción a Solid Edge (2006)
Autores: Jesús Meneses Alonso, Carolina Álvarez Caldas y Santiago Rodríguez Fernández.
Editorial: Thomson

[10] Página web sobre las energías renovables:

http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_renovable

Última visita: 27/5/2015

[11] Página web sobre las farolas solares:

<http://www.sitiosolar.com/farolas%20solares.htm>

Última visita: 27/5/2015

[12] Página web sobre las farolas solares:

<http://kitdeenergiasolar.com/precios-de-farolas-solares/>

Última visita: 27/5/2015

[13] Página web sobre los paneles fotovoltaicos:

<http://www.conermex.com.mx/componentes-de-energia/paneles-y-celdas-solares.html>

Última visita: 27/5/2015

[14] Página web sobre Merzouga:

<http://hotelyasminamerzouga.com/yasmina-hotel-merzouga-indicaciones-marruecos.html>

Última visita: 27/5/2015

[15] Página web sobre el clima:

<http://www.climaenelmundo.com/marruecos/clima-merzouga-1013>

Última visita: 27/5/2015

[16] Página web sobre el clima:

http://www.eltiempo24.es/climatologia/mundo/?continent=%C3%81frica&country_code=MA&station=601500

Última visita: 27/5/2015

[17] Página web sobre el clima:

<http://www.woespana.es/weather/maps/city?FMM=1&FYY=2000&LMM=12&LYY=2014&WMO=60150&CONT=afri®ION=0011&LAND=MC&ART=WST&R=0&NOREGION=1&LEVEL=162&LANG=es&MOD=tab>

Última visita: 27/5/2015

[18] Página web sobre el clima:

<http://www.zoover.es/marruecos/marruecos/merzouga/tiempo>

Última visita: 27/5/2015

[19] Página web sobre la clasificación de Köppen-Geiger:

http://es.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3n_clim%C3%A1tica_de_K%C3%B6ppen

Última visita: 27/5/2015

[20] Página web sobre el clima:

<http://www.astroyciencia.com/2011/11/07/clima-arido/>

Última visita: 27/5/2015

[21] Página web sobre el clima:

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?map=africa>

Última visita: 27/5/2015

[22] Página web sobre el acero:

<http://www.mrl.ucsb.edu/~edkramer/LectureVGsMat100B/99Lecture14VGs/FeCPhaseDiagramVG.html>

Última visita: 27/5/2015

[23] Página web sobre el acero:

<http://es.wikipedia.org/wiki/Acero>

Última visita: 27/5/2015

[24] Página web sobre la orientación de los paneles fotovoltaicos:

<http://antusol.webcindario.com/instalacion.html>

Última visita: 27/5/2015

[25] Página web sobre las baterías OPz Solar:

<http://www.atersa.com/datosproductos.asp?param=38>

Última visita: 27/5/2015

[26] Página web sobre el panel fotovoltaico GES-M75:

<http://www.pv-matrix.de/de/solarmodule/ges-m75.html>

Última visita: 27/5/2015

[27] Página web sobre el panel fotovoltaico GES-6P70:

<http://www.geothermia.hu/6p70.htm>

Última visita: 27/5/2015

[28] Página web sobre el panel fotovoltaico PL 800 D:

<https://www.quicksolar.com/page/getsolarpanelspecdatasheet?id=2254>

Última visita: 27/5/2015

[29] Página web sobre las luminarias de Mayja:

<http://www.mayja.es/luminaria-vial-led-593/>

Última visita: 27/5/2015

[30] Página web sobre el regulador de carga de Victron Energy:

<http://www.tutiendasolar.es/Reguladores-de-carga-con-led-Regulador-Blue-Solar-12-24-20,-20A-a-12-%C3%B3-24V-Victron-Energy.html>

Última visita: 27/5/2015

[31] Página web sobre el interruptor crepuscular de Kemo Electronic:

<http://www.tiendafotovoltaica.es/Interruptor-crepuscular-a-12-Voltios>

Última visita: 27/5/2015

[32] Página web sobre el temporizador de Remote Power:

<http://es.aliexpress.com/item/pmw-solar-charge-controller-10A-12V-24V-120w-240w-Regulator-Controller-Panel-Charger-Battery-Charging-LED/2044828345.html?isOrig=true#extend>

Última visita: 27/5/2015

[33] Página web sobre Solid Edge:

http://www.ehu.eus/asignaturaskO/DibujoInd/Solid_Edge_v16.pdf

Última visita: 27/5/2015

[34] Página web sobre PVsyst:

<http://files.pvsyst.com/pvsyst5.pdf>

Última visita: 27/5/2015

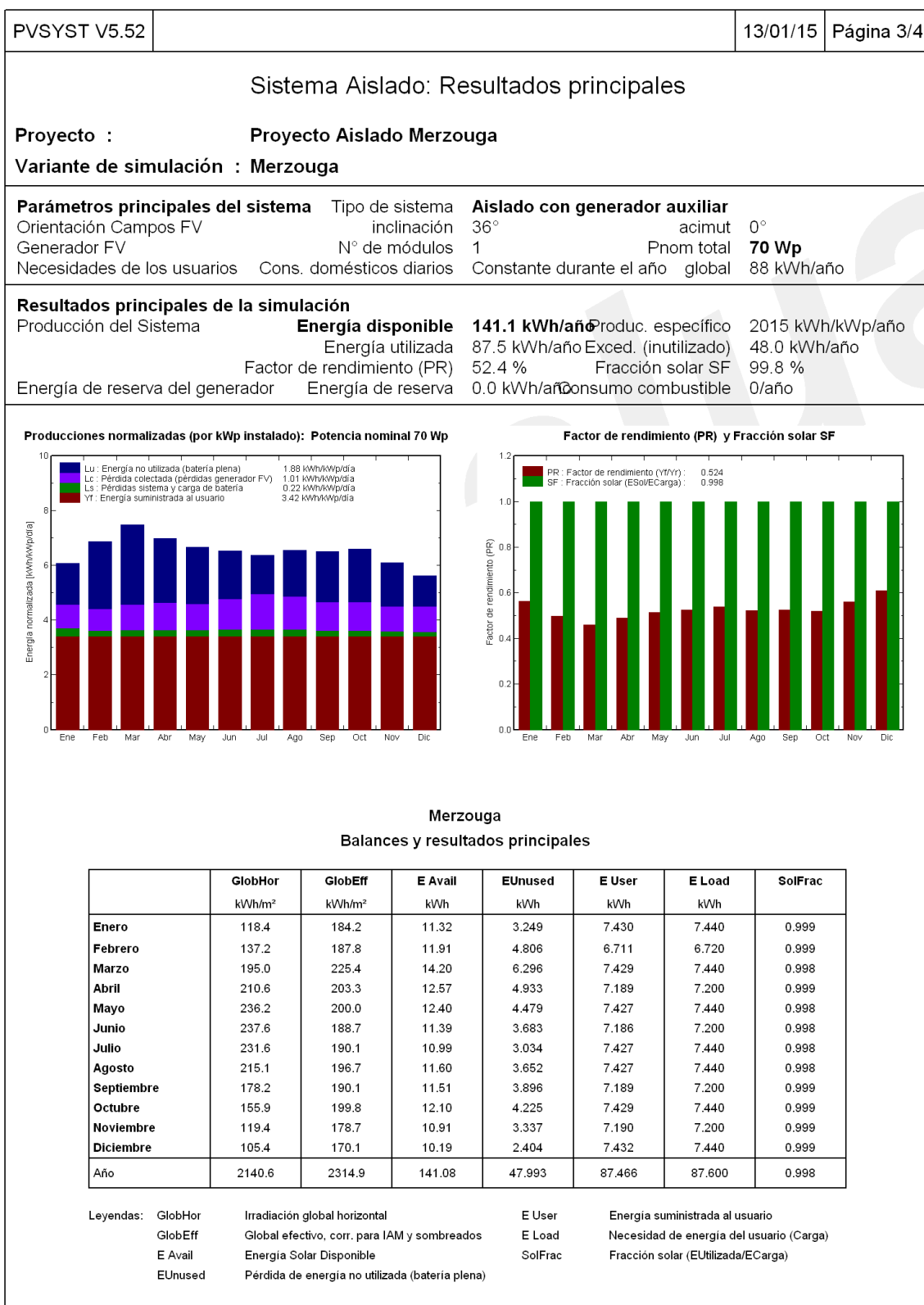
ANEXOS

Anexo A

Informes obtenidos con el programa PVsyst

PVSYST V5.52			13/01/15	Página 1/4
Sistema Aislado: Parámetros de la simulación				
Proyecto : Proyecto Aislado Merzouga				
Lugar geográfico		Merzouga	País	Morocco
Ubicación		Latitud 31.3°N	Longitud	4.3°E
Hora definido como		Hora Legal Huso hor. UT+1	Altitud	696 m
		Albedo 0.20		
Datos climatológicos : Merzouga, Síntesis datos por hora				
Variante de simulación : Merzouga				
		Fecha de simulación	13/01/15 17h07	
Parámetros de la simulación				
Orientación Plano Receptor		Inclinación 36°	Acimut	0°
Características generador FV				
Módulo FV		Si-poly	Modelo	GES6-P70
		Fabricante	GESOLAR	
Número de módulos FV		En serie	1 módulos	En paralelo 1 cadenas
N° total de módulos FV		N° módulos	1	Pnom unitaria 70 Wp
Potencia global generador		Nominal (STC)	70 Wp	En cond. funciona. 63 Wp (50°C)
Caract. funcionamiento del generador (50°C)		V mpp	16 V	I mpp 3.9 A
Superficie total		Superficie módulos	0.5 m²	Superficie célula 0.4 m²
Factores de pérdida Generador FV				
Factor de pérdidas térmicas		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (viento) 0.0 W/m²K / m/s
=> Temp. Opera. Nom. Cél. (G=800 W/m², Tamb=20° C, Viento=1m/s)				TONC 56 °C
Pérdida Óhmica en el Cableado		Res. global generador	68 mOhm	Fracción de Pérdidas 1.5 % en STC
Pérdida Calidad Módulo				Fracción de Pérdidas 0.1 %
Pérdidas Mismatch Módulos				Fracción de Pérdidas 4.0 % (tensión fija)
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Parámetro bo 0.05
Parámetro del Sistema		Tipo de sistema	Sistema Aislado con generador auxiliar	
Batería		Modelo	OPzS Solar 70	
		Fabricante	Exide Classic	
Características del banco de baterías		Tensión	12 V	Capacidad Nominal 52 Ah
		N° de unidades	1	
		Temperatura	Valores mensuales dados	
Regulador		Modelo	General Purpose Default	
		Tecnología	Undefined	
Umbral de Regulación Baterías		Carga	13.7/13.1 V	Coef. temp. -5.0 mV/°C/elem.
Comando de Generador Auxiliar			11.8/12.9 V	Descarga 11.8/12.6 V
Generador auxiliar		Modelo	1.5 kW	
		Fabricante	Back-up generator	
		Potencia	2 kW	
Necesidades de los usuarios				
Cons. domésticos diarios		Constante durante el año		
media		0.2 kWh/Día		

PVSYST V5.52		13/01/15	Página 2/4																
Sistema Aislado: Necesidades detalladas del usuario																			
Proyecto : Proyecto Aislado Merzouga																			
Variante de simulación : Merzouga																			
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 35%;">Parámetros principales del sistema</td> <td style="width: 35%;">Tipo de sistema</td> <td colspan="2" style="width: 30%;">Aislado con generador auxiliar</td> </tr> <tr> <td>Orientación Campos FV</td> <td>inclinación</td> <td>36°</td> <td>acimut 0°</td> </tr> <tr> <td>Generador FV</td> <td>N° de módulos</td> <td>1</td> <td>Pnom total 70 Wp</td> </tr> <tr> <td>Necesidades de los usuarios</td> <td>Cons. domésticos diarios</td> <td>Constante durante el año</td> <td>global 88 kWh/año</td> </tr> </table>				Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Aislado con generador auxiliar		Orientación Campos FV	inclinación	36°	acimut 0°	Generador FV	N° de módulos	1	Pnom total 70 Wp	Necesidades de los usuarios	Cons. domésticos diarios	Constante durante el año	global 88 kWh/año
Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Aislado con generador auxiliar																	
Orientación Campos FV	inclinación	36°	acimut 0°																
Generador FV	N° de módulos	1	Pnom total 70 Wp																
Necesidades de los usuarios	Cons. domésticos diarios	Constante durante el año	global 88 kWh/año																
Cons. domésticos diarios, Constante durante el año, media = 0.2 kWh/día																			
Valores anuales																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;"></th> <th style="width: 10%;">Número</th> <th style="width: 20%;">Potencia</th> <th style="width: 20%;">Utilización</th> <th style="width: 10%;">Energía</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lámparas fluorescentes</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td>30 W/lámpara</td> <td style="text-align: center;">8 h/día</td> <td>240 Wh/día</td> </tr> <tr> <td>Energía total diaria</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>240 Wh/día</td> </tr> </tbody> </table>					Número	Potencia	Utilización	Energía	Lámparas fluorescentes	1	30 W/lámpara	8 h/día	240 Wh/día	Energía total diaria				240 Wh/día	
	Número	Potencia	Utilización	Energía															
Lámparas fluorescentes	1	30 W/lámpara	8 h/día	240 Wh/día															
Energía total diaria				240 Wh/día															



PVSYST V5.52	13/01/15	Página 4/4
--------------	----------	------------

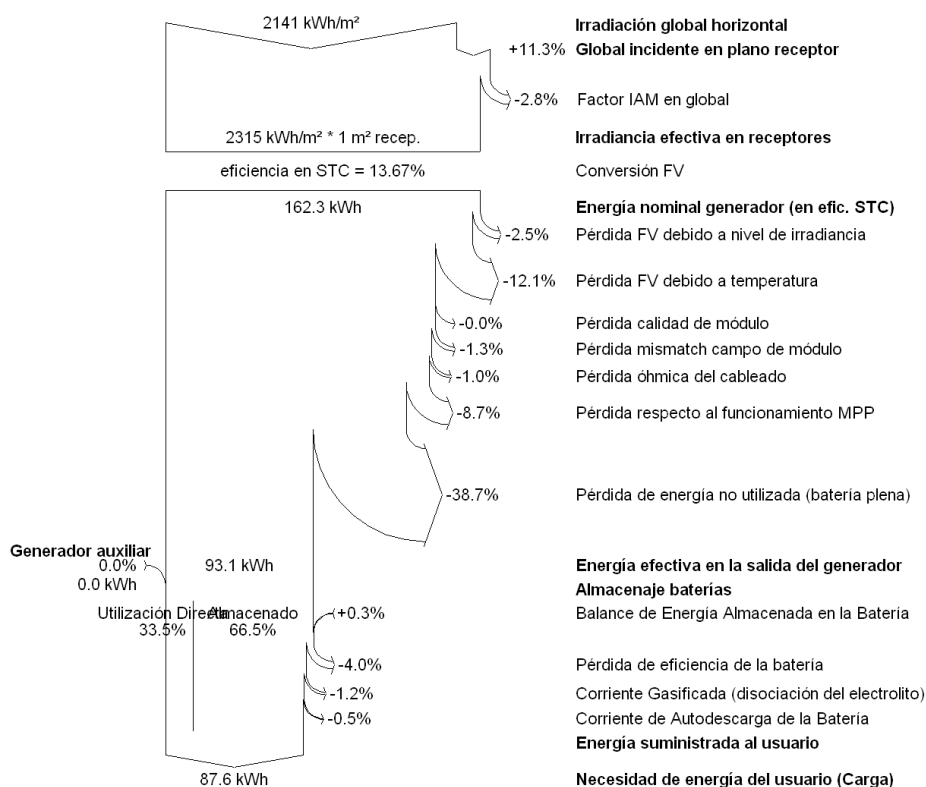
Sistema Aislado: Diagrama de pérdidas

Proyecto : Proyecto Aislado Merzouga

Variante de simulación : Merzouga

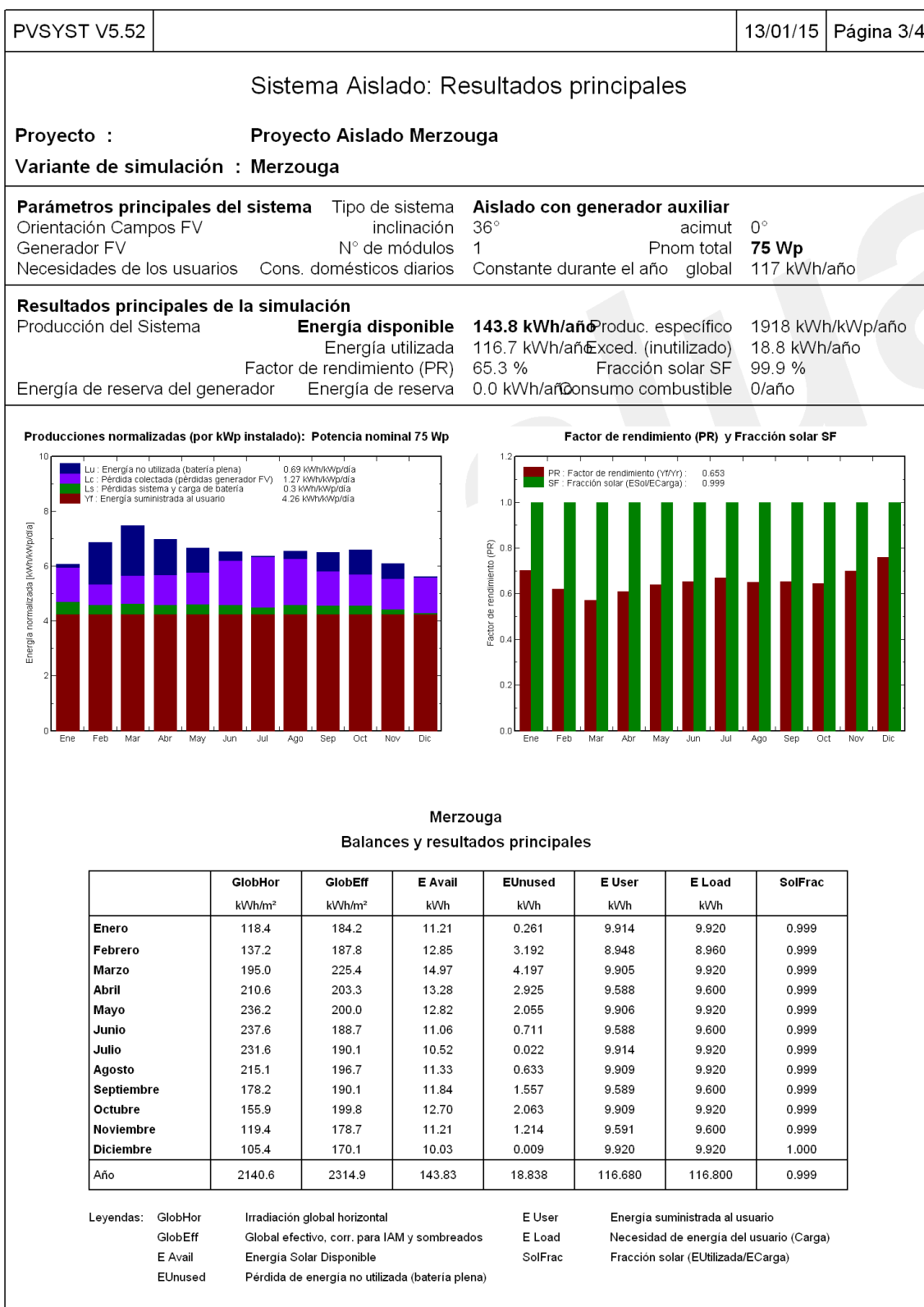
Parámetros principales del sistema		Tipo de sistema		Aislado con generador auxiliar	
Orientación Campos FV		inclinación	36°	acimut	0°
Generador FV		N° de módulos	1	Pnom total	70 Wp
Necesidades de los usuarios	Cons. domésticos diarios	Constante durante el año		global	88 kWh/año

Diagrama de pérdida durante todo el año



PVSYST V5.52			13/01/15	Página 1/4
Sistema Aislado: Parámetros de la simulación				
Proyecto : Proyecto Aislado Merzouga				
Lugar geográfico		Merzouga	País	Morocco
Ubicación		Latitud 31.3°N	Longitud	4.3°E
Hora definido como		Hora Legal Huso hor. UT+1	Altitud	696 m
		Albedo 0.20		
Datos climatológicos : Merzouga, Síntesis datos por hora				
Variante de simulación : Merzouga				
		Fecha de simulación	13/01/15 17h57	
Parámetros de la simulación				
Orientación Plano Receptor		Inclinación	36°	Acimut 0°
Características generador FV				
Módulo FV		Si-mono	Modelo	GES-M75
			Fabricante	GESOLAR
Número de módulos FV		En serie	1 módulos	En paralelo 1 cadenas
N° total de módulos FV		N° módulos	1	Pnom unitaria 75 Wp
Potencia global generador		Nominal (STC)	75 Wp	En cond. funciona. 66 Wp (50°C)
Caract. funcionamiento del generador (50°C)		V mpp	15 V	I mpp 4.4 A
Superficie total		Superficie módulos	0.6 m²	Superficie célula 0.5 m²
Factores de pérdida Generador FV				
Factor de pérdidas térmicas		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (viento) 0.0 W/m²K / m/s
=> Temp. Opera. Nom. Cél. (G=800 W/m², Tamb=20° C, Viento=1m/s)				TONC 56 °C
Pérdida Óhmica en el Cableado		Res. global generador	57 mOhm	Fracción de Pérdidas 1.5 % en STC
Pérdida Calidad Módulo				Fracción de Pérdidas 0.1 %
Pérdidas Mismatch Módulos				Fracción de Pérdidas 4.0 % (tensión fija)
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Parámetro bo 0.05
Parámetro del Sistema		Tipo de sistema	Sistema Aislado con generador auxiliar	
Batería		Modelo	OPzS Solar 140	
		Fabricante	Exide Classic	
Características del banco de baterías		Tensión	12 V	Capacidad Nominal 103 Ah
		N° de unidades	1	
		Temperatura	Valores mensuales dados	
Regulador		Modelo	General Purpose Default	
		Tecnología	Undefined	
Umbral de Regulación Baterías		Carga	13.7/13.1 V	Coef. temp. -5.0 mV/°C/elem.
Comando de Generador Auxiliar			11.8/12.9 V	Descarga 11.8/12.6 V
Generador auxiliar		Modelo	1.5 kW	
		Fabricante	Back-up generator	
		Potencia	2 kW	
Necesidades de los usuarios				
Cons. domésticos diarios		Constante durante el año		
media		0.3 kWh/Día		

PVSYST V5.52		13/01/15	Página 2/4																
Sistema Aislado: Necesidades detalladas del usuario																			
Proyecto : Proyecto Aislado Merzouga																			
Variante de simulación : Merzouga																			
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 35%;">Parámetros principales del sistema</td> <td style="width: 35%;">Tipo de sistema</td> <td colspan="2" style="width: 30%;">Aislado con generador auxiliar</td> </tr> <tr> <td>Orientación Campos FV</td> <td>inclinación</td> <td>36°</td> <td>acimut 0°</td> </tr> <tr> <td>Generador FV</td> <td>N° de módulos</td> <td>1</td> <td>Pnom total 75 Wp</td> </tr> <tr> <td>Necesidades de los usuarios</td> <td>Cons. domésticos diarios</td> <td>Constante durante el año</td> <td>global 117 kWh/año</td> </tr> </table>				Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Aislado con generador auxiliar		Orientación Campos FV	inclinación	36°	acimut 0°	Generador FV	N° de módulos	1	Pnom total 75 Wp	Necesidades de los usuarios	Cons. domésticos diarios	Constante durante el año	global 117 kWh/año
Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Aislado con generador auxiliar																	
Orientación Campos FV	inclinación	36°	acimut 0°																
Generador FV	N° de módulos	1	Pnom total 75 Wp																
Necesidades de los usuarios	Cons. domésticos diarios	Constante durante el año	global 117 kWh/año																
Cons. domésticos diarios, Constante durante el año, media = 0.3 kWh/día																			
Valores anuales																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;"></th> <th style="width: 10%;">Número</th> <th style="width: 20%;">Potencia</th> <th style="width: 20%;">Utilización</th> <th style="width: 10%;">Energía</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lámparas fluorescentes</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td>40 W/lámpara</td> <td style="text-align: center;">8 h/día</td> <td>320 Wh/día</td> </tr> <tr> <td>Energía total diaria</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>320 Wh/día</td> </tr> </tbody> </table>					Número	Potencia	Utilización	Energía	Lámparas fluorescentes	1	40 W/lámpara	8 h/día	320 Wh/día	Energía total diaria				320 Wh/día	
	Número	Potencia	Utilización	Energía															
Lámparas fluorescentes	1	40 W/lámpara	8 h/día	320 Wh/día															
Energía total diaria				320 Wh/día															



PVSYST V5.52	13/01/15	Página 4/4
--------------	----------	------------

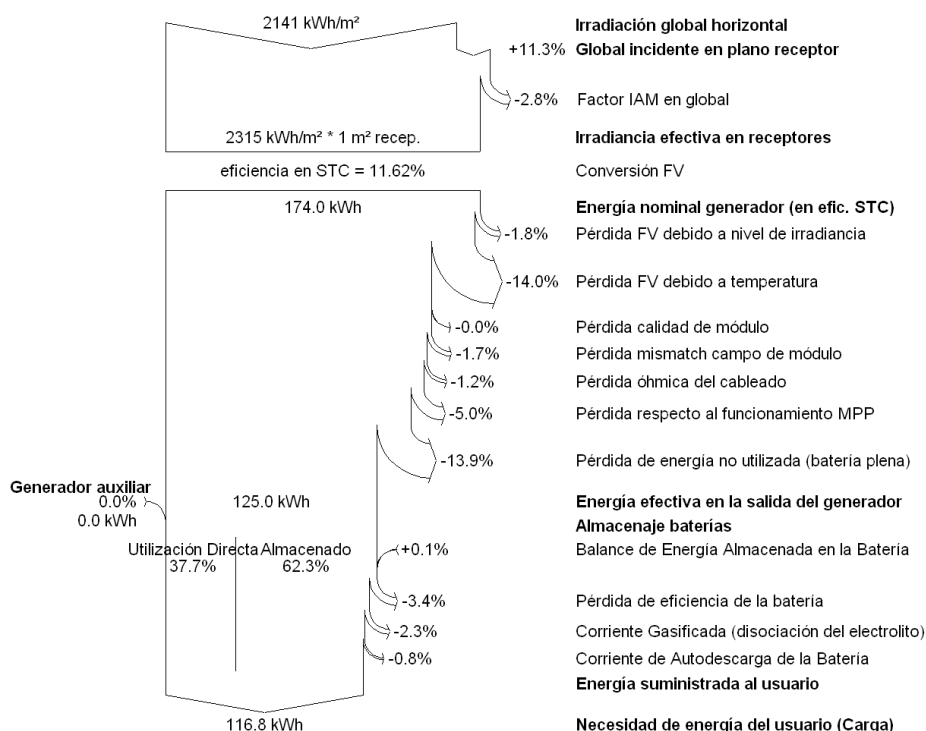
Sistema Aislado: Diagrama de pérdidas

Proyecto : Proyecto Aislado Merzouga

Variante de simulación : Merzouga

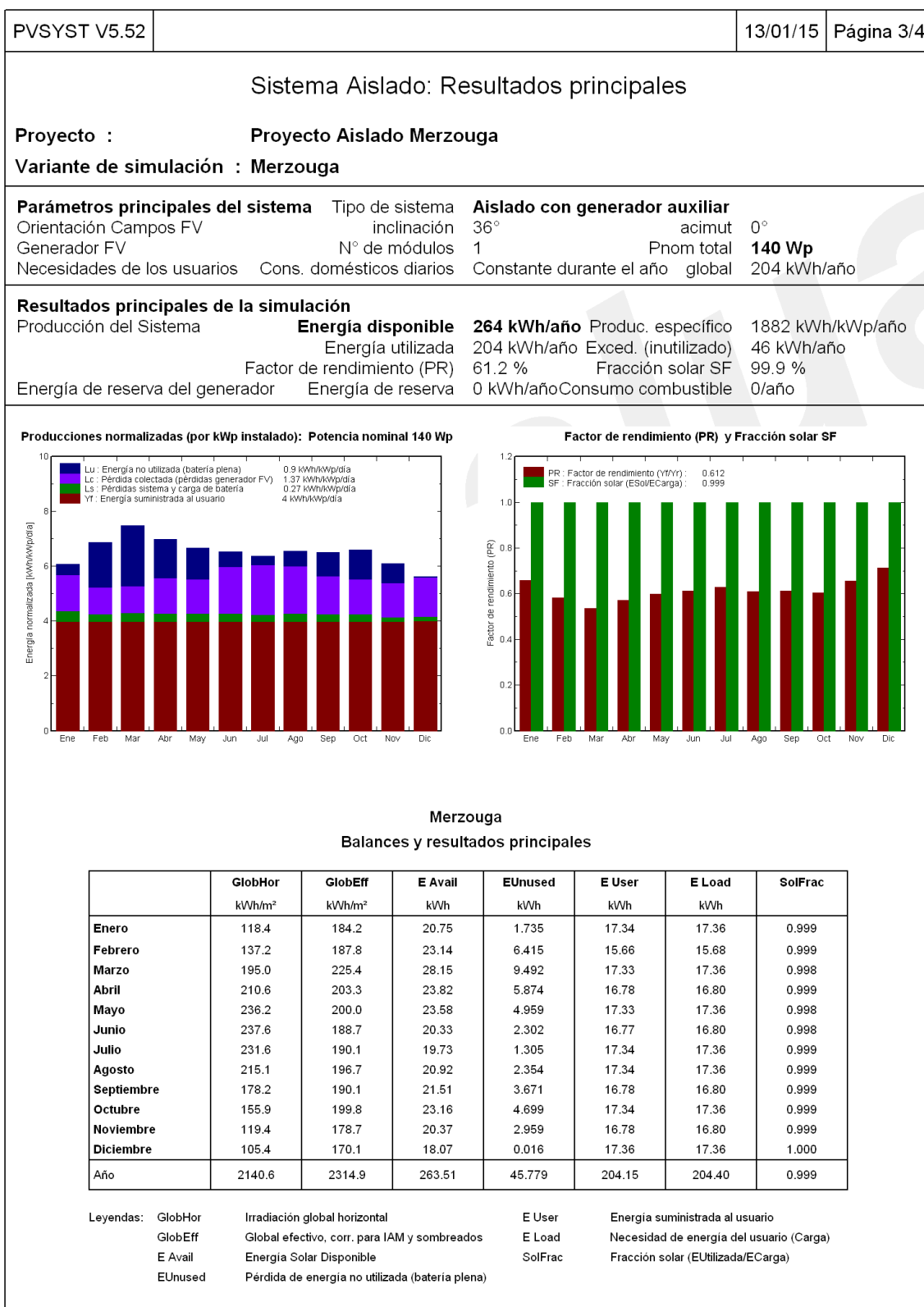
Parámetros principales del sistema		Tipo de sistema		Aislado con generador auxiliar	
Orientación Campos FV		inclinación	36°	acimut	0°
Generador FV		N° de módulos	1	Pnom total	75 Wp
Necesidades de los usuarios	Cons. domésticos diarios	Constante durante el año		global	117 kWh/año

Diagrama de pérdida durante todo el año



PVSYST V5.52			13/01/15	Página 1/4
Sistema Aislado: Parámetros de la simulación				
Proyecto : Proyecto Aislado Merzouga				
Lugar geográfico		Merzouga	País	Morocco
Ubicación		Latitud 31.3°N	Longitud	4.3°E
Hora definido como		Hora Legal Huso hor. UT+1	Altitud	696 m
		Albedo 0.20		
Datos climatológicos : Merzouga, Síntesis datos por hora				
Variante de simulación : Merzouga				
		Fecha de simulación	13/01/15 18h49	
Parámetros de la simulación				
Orientación Plano Receptor		Inclinación 36°	Acimut	0°
Características generador FV				
Módulo FV		Si-mono	Modelo	PL 800 D
			Fabricante	Eurosolare
Número de módulos FV		En serie	1 módulos	En paralelo 1 cadenas
N° total de módulos FV		N° módulos	1	Pnom unitaria 140 Wp
Potencia global generador		Nominal (STC)	140 Wp	En cond. funciona. 123 Wp (50°C)
Caract. funcionamiento del generador (50°C)		V mpp	15 V	I mpp 8.2 A
Superficie total		Superficie módulos	1.3 m²	Superficie célula 0.8 m²
Factores de pérdida Generador FV				
Factor de pérdidas térmicas		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (viento) 0.0 W/m²K / m/s
=> Temp. Opera. Nom. Cél. (G=800 W/m², Tamb=20° C, Viento=1m/s)				TONC 56 °C
Pérdida Óhmica en el Cableado		Res. global generador	31 mOhm	Fracción de Pérdidas 1.5 % en STC
Pérdida Calidad Módulo				Fracción de Pérdidas 3.0 %
Pérdidas Mismatch Módulos				Fracción de Pérdidas 4.0 % (tensión fija)
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Parámetro bo 0.05
Parámetro del Sistema		Tipo de sistema	Sistema Aislado con generador auxiliar	
Batería		Modelo	OPzS Solar 210	
		Fabricante	Exide Classic	
Características del banco de baterías		Tensión	12 V	Capacidad Nominal 155 Ah
		N° de unidades	1	
		Temperatura	Valores mensuales dados	
Regulador		Modelo	General Purpose Default	
		Tecnología	Undefined	
Umbral de Regulación Baterías		Carga	13.7/13.1 V	Coef. temp. -5.0 mV/°C/elem.
Comando de Generador Auxiliar			11.8/12.9 V	Descarga 11.8/12.6 V
Generador auxiliar		Modelo	1.5 kW	
		Fabricante	Back-up generator	
		Potencia	2 kW	
Necesidades de los usuarios		Cons. domésticos diarios media	Constante durante el año 0.6 kWh/Día	

PVSYST V5.52		13/01/15	Página 2/4
Sistema Aislado: Necesidades detalladas del usuario			
Proyecto : Proyecto Aislado Merzouga			
Variante de simulación : Merzouga			
Parámetros principales del sistema			
Tipo de sistema	Aislado con generador auxiliar		
Orientación Campos FV	inclinación 36°	acimut	0°
Generador FV	N° de módulos 1	Pnom total	140 Wp
Necesidades de los usuarios	Cons. domésticos diarios	Constante durante el año	global 204 kWh/año
Cons. domésticos diarios, Constante durante el año, media = 0.6 kWh/día			
Valores anuales			
	Número	Potencia	Energía
Lámparas fluorescentes	1	70 W/lámpara	560 Wh/día
Energía total diaria			560 Wh/día



PVSYST V5.52	13/01/15	Página 4/4
--------------	----------	------------

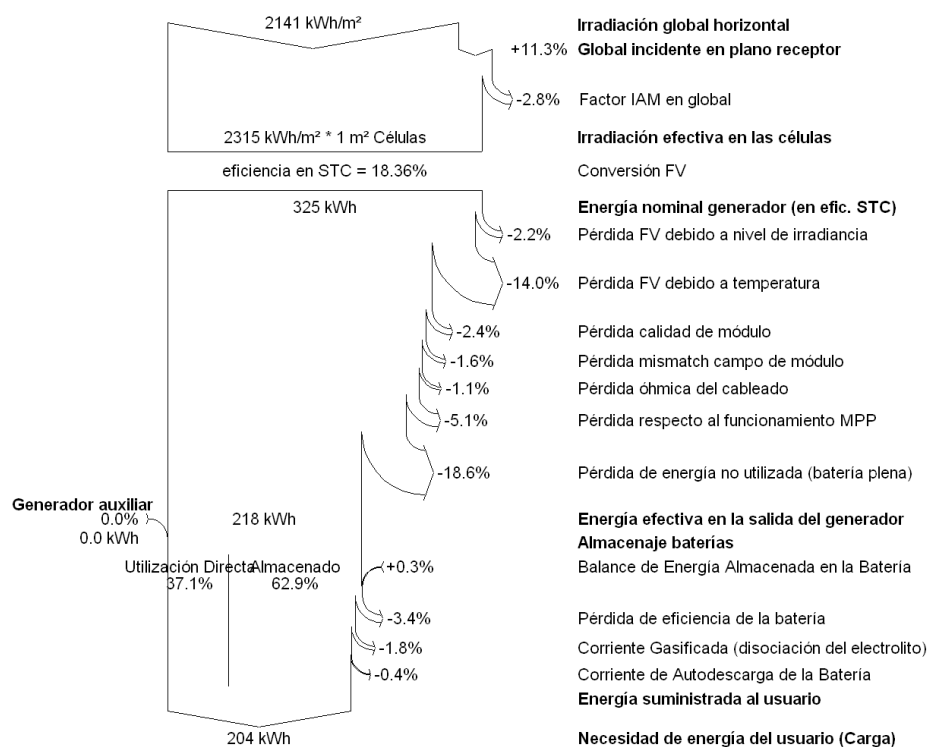
Sistema Aislado: Diagrama de pérdidas

Proyecto : Proyecto Aislado Merzouga

Variante de simulación : Merzouga

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Aislado con generador auxiliar
Orientación Campos FV	inclinación	36°
Generador FV	N° de módulos	1
Necesidades de los usuarios	Cons. domésticos diarios	Constante durante el año
		acimut 0°
		Pnom total 140 Wp
		global 204 kWh/año

Diagrama de pérdida durante todo el año



Anexo B

Fichas técnicas de las baterías seleccionadas

TIPO			Dimensiones por elemento (mm)			Kg por elem. (con ácido)
	Capacidad Ah en C120 a 25°C y tensión final por elemento 1,85V	Tensión	Ancho	Largo	Alto	
RECIPIENTE MONOBLOC TRANSPARENTE						
OpzS Solar 70	70	12 V	208	275	385	35

TIPO			Dimensiones por elemento (mm)			Kg por elem. (con ácido)
	Capacidad Ah en C120 a 25°C y tensión final por elemento 1,85V	Tensión	Ancho	Largo	Alto	
RECIPIENTE MONOBLOC TRANSPARENTE						
OpzS Solar 140	140	12 V	208	275	385	45

TIPO			Dimensiones por elemento (mm)			Kg por elem. (con ácido)
	Capacidad Ah en C120 a 25°C y tensión final por elemento 1,85V	Tensión	Ancho	Largo	Alto	
RECIPIENTE MONOBLOC TRANSPARENTE						
OpzS Solar 210	210	12 V	208	383	385	64

Anexo C

Fichas técnicas de los paneles fotovoltaicos seleccionados

GESOLAR

Build and Beyond

GES-6P70

70 Watt Polycrystalline Photovoltaic Module

Outstanding mechanical load performance enables each panel to withstand wind up to 200 km/h or snow up to 550 kg/m².

In-line Electroluminescence (EL) testing of each panel ensures no micro - cracks or mismatch on cells.

Ammonia Endurance Test (ECT1716) and Salt Mist Test (ECT1701) verified the excellent performance of each panel in harsh or unusual environments.

Aging test under 85 °C and 85 % relative humidity for at least 1,500 hours guarantees a low power degradation for 25 years.

All performance and cooperation warranties are linked with product liability and financial injury (ELC) Liability Insurance with CHUBB INSURANCE (CHINA) COMPANY LIMITED.

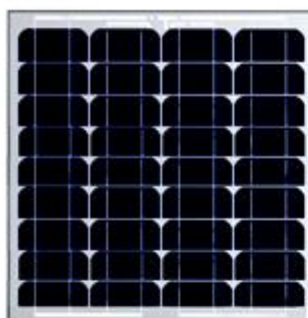
- Up to +5W power tolerance of each panel ensuring high ROI
- High cell conversion efficiency up to 17.4 %
- Outstanding electrical performance under high temperature and low-irradiance conditions
- Easy installation and all-weather applications thanks to innovative engineering design

GESOLAR guarantees

- Up to +5W power tolerance of each panel
- Workmanship and materials in 10 years
- 90 % minimum power output in 12 years
- 80 % minimum power output in 25 years

CE

PV module



GES-M75

Fabricante: Green Energy Solar (GESOLAR) Corporación

Potencia nominal	75 Wp
Tolerancia de potencia	5%
Eficiencia del módulo	11: 59%
BIPV	No
Células por módulo	36
Fabricantes de celulares	Sunways AG Fotovoltaica
Tipo de la célula	Mono

Especificaciones mecánicas

Longitud	1196 mm
Ancho	541 mm
Peso	8 kg
Grosor del marco	30 mm
Grosor del marco	30 mm
Espesor con caja	30 mm
Tipo de trama	Aluminio
Estructura	vidrio-PVF
Estaño / plomo	Caja de conexión
Enchufe	Tyco

Especificaciones eléctricas

Voc a 1000 W / m ²	21,3 V
Isc a 1000 W / m ²	4.88 A
Max. Tensión del sistema	715 V
TONC a 800 W / m ²	45 ° C
Vmpp a 1000 W / m ²	17,2 V
Impp a 1000 W / m ²	4.4 A

Eurosolare

PL 800 D



Manufacturer	Eurosolare
Model	PL 800 D
Drate	0.77
Pvsystfilename	Eurosolare_PL800D.PAN
Pnom (W)	140
Efficiency (%)	
Celltype	
Cellshape	
Postolerance	
Negtolerance	0
Technology	Si-mono
Cells	36
Guarantee	2
Guarofpoweryears1	
Guaranteeofpowerperc1	
Guarofpoweryears2	
Guaranteeofpowerperc2	
Gref	1000
Tref	25
VMP	17
IMP	8.25
VOC	21.1
ISC	9
Misc	2.3
Lmm (In.)	1215
Wmm (In.)	1108
Dmm (Lbs.)	57
Mvco	-76.15
Mpmp	-0.48
Rsho	400
Rshexp	5.5
Rshunt	110
Rseries	0.1
D2mutau	0
Vmax	0
Bypassdiodes	2
Kg	18
Area	1.346
Encapsulation	temp. glass 3mm
Connector	EVA / Tedlar/Polyester/Tedlar
Dollarperwatt	
Degradation	0.0075

Anexo D

Recomendaciones de elementos electrónicos

Luminarias:

Son los aparatos de alumbrado que reparten, filtran y transforman la luz emitida por una o varias lámparas. Comprenden todos los dispositivos necesarios para el soporte, la fijación, la protección y los circuitos eléctricos auxiliares para la conexión de dichas lámparas.

Debido a la gran variedad de luminarias que existen en el mercado se ha decidido recomendar alguna para los modelos. Sin embargo, las estructuras-soporte están diseñadas de manera que permiten instalar una gran variedad de las luminarias disponibles en el mercado debido al diámetro del brazo-soporte para la luminaria.

En este caso se han decidido recomendar para la instalación las luminarias Vial Led — Ref.593 LED de la empresa Mayja. Su empleo es adecuado para instalaciones de alumbrado vial-ambiental con alturas de hasta 8 metros y está disponible con múltiples potencias.



Figura D.1: Luminaria Ref.593 LED, de la empresa Mayja [29].

La empresa que las fabrica garantiza con su diseño óptico el cumplimiento de los requisitos establecidos por el Reglamento de Eficiencia Energética de Alumbrado Exterior al hacer uso de dos tipos de ópticas según sea la configuración de la vía que se pretenda iluminar.

La primera de las dos ópticas, denominada por el fabricante M-CLASS, es adecuada para su utilización en el alumbrado vial con tipos de vía de tráfico A y B, o en situaciones de proyectos donde se requiere una clase de alumbrado M. Recomendamos su utilización en calles o en vías donde la relación entre la separación de los puntos de luz y la altura de instalación sea aproximadamente de 4,5:1m.

La segunda de las dos ópticas, denominada por el fabricante ÓPTICA S-CLASS, es adecuada para su utilización en el alumbrado vial-ambiental con tipos de vía de tráfico lento, en vías peatonales tipo C, D y E, o en situaciones de proyectos donde se requiere una clase de alumbrado S o C. Recomendamos su utilización en calles o vías generalmente estrechas donde se requiera una elevada separación entre los puntos

de luz. En este caso, la relación óptima entre la separación de los puntos de luz y la altura de instalación es aproximadamente de 7,5:1m.

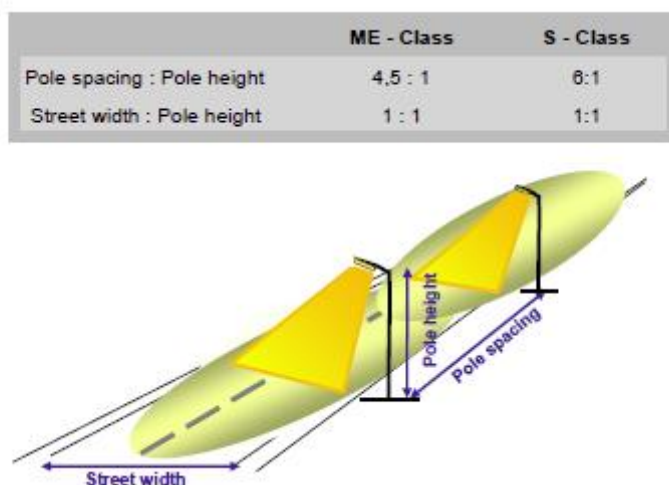


Figura D.2: Posicionamiento óptimo de las ópticas M-Class y S-Class [29].

La empresa también proporciona otras características de esta luminaria en su página web:

- Cuerpo y carcasa fabricado en aluminio inyectado con acabado gris 9007 texturado.
- Instalación vertical “Top-Post” o lateral para entradas de diámetro de 60mm con posibilidad de inclinación de 0-15° cuando se instala “Top-post”.
- IPP 66 CLASE I – Opcional CLASE II.
- Grupo óptico compuesto por 16/32 LEDs, con potencias disponibles de 37,46 y 68W.
- Luminaria LED con eficiencia lumínica de hasta 95lm/W.
- Temperatura de color 4.0000K. (NW) – CRI 70.
- Vida útil superior a 50.000 horas y garantía de mantenimiento del 70% del flujo luminoso.

Para obtener más información se aconseja visitar la página oficial del fabricante donde se puede encontrar su ficha técnica.

Regulador de carga:

Este dispositivo se emplea para controlar la tensión y la corriente que recibe la batería. Dicho elemento protege la batería frente a sobrecargas y evita que el panel fotovoltaico proporcione energía a la batería cuando está completamente cargada o no existe radiación solar suficiente para cargarla.

Existe una amplia variedad de reguladores de carga disponible en el mercado. Para llevar a cabo la selección de dicho dispositivo se debe tener en cuenta que la tensión nominal asignada de la batería es de 12V. En base a lo anterior se ha decidido recomendar la utilización del modelo Regulador Blue Solar 12/24-10, 20A 12/24V de la empresa Victron Energy.



Figura D.3: Regulador Blue Solar 12/24-10, 20A 12/24V, de la empresa Victron Energy [30].

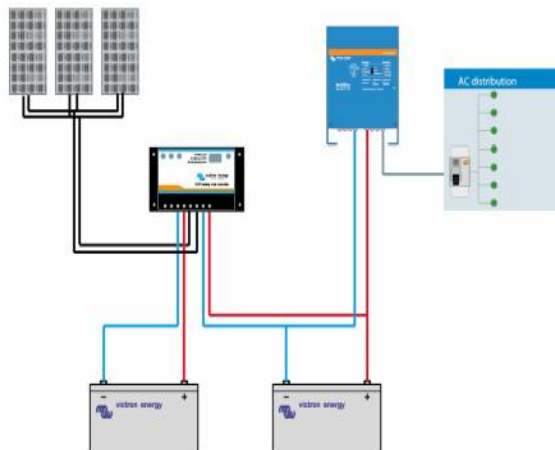


Figura D.4: Esquema de la conexión del regulador de carga [30].

La empresa vendedora proporciona algunas características de este regulador en su página web:

- Controlador PWM (la tensión de salida del panel solar será casi igual a la tensión de la batería).
- Puede cargar dos baterías distintas a la vez.
- Ratio de corriente de carga programable (configuración de fábrica: igual corriente a ambas baterías).
- Ajustes de tensión de carga para tres tipos de batería (Gel, AGM e inundadas).
- Sensor de temperatura interna y sensor remoto de temperatura opcional.
- Protegido contra sobrecorriente.
- Protegido contra cortocircuitos.
- Protegido contra la conexión inversa de los paneles solares y/o de la batería.
- Refrigeración por convección natural.
- Clase de protección: IP 20.
- Peso: 180 gramos.
- Dimensiones: 76x153x37mm.
- Temperatura de funcionamiento: -35°C/+55°C.

Para obtener más información se recomienda visitar la página oficial de la empresa vendedora donde puede encontrarse la ficha técnica.

Interruptor crepuscular/timer:

El interruptor crepuscular activa la lámpara cuando la iluminación ambiental permanece por debajo de un determinado valor durante un determinado intervalo de tiempo y la desactiva cuando la iluminación ambiental permanece por encima de ese valor durante un determinado intervalo de tiempo. El motivo por el que existe un determinado intervalo de tiempo para la activación y para la desactivación de la lámpara es evitar los que se conocen como “falsos positivos” (breves períodos de tiempo donde la iluminación ambiental permanece por debajo del valor fijado sin ser de noche).

Hay una gran variedad de interruptores crepusculares en el mercado. Se ha decidido recomendar la utilización del modelo Interruptor Crepuscular 12V/DC de la empresa Kemo Electronic.



Figura D.5: Interruptor Crepuscular 12V/DC, de la empresa Kemo Electronic [31].

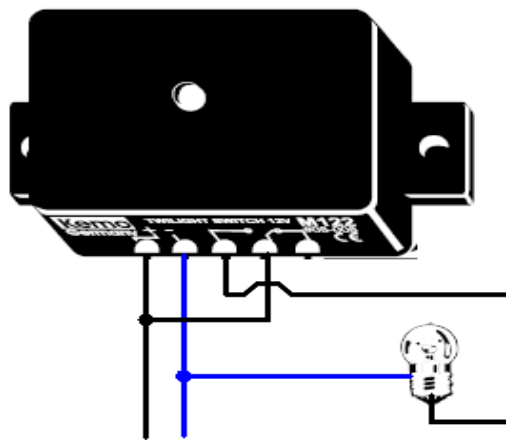


Figura D.6: Esquema de la conexión del interruptor crepuscular [31].

La empresa vendedora proporciona algunas características de este interruptor en su página web:

- La sensibilidad de la intensidad luminosa se puede ajustar cubriendo el sensor parcialmente.
- Tensión de servicio: 12V/DC (11-14V/DC).
- Consumo de energía: aprox. 2mA/35mA (relé on/off).
- Contacto de relé: 1xswitch-over, la máxima capacidad de carga 25V/3A.
- Rango de temperatura: aprox.-15°C/+50°C
- Intensidad luminosa de conexión: aprox. 25lux±20%.
- Intensidad luminosa de desconexión: aprox. 45lux±20%.
- Retardo de conmutación: aprox. 3-4segundos.
- Dimensiones: aprox. 72x50x32mm (sin pestaña de fijación).

Para obtener más información se aconseja visitar la página oficial de la empresa vendedora donde puede encontrarse la ficha técnica.

El timer o temporizador es un dispositivo que se programa para activar y para desactivar la lámpara mediante la apertura y cierre de un circuito en uno o más momentos determinados.

Existe una gran variedad de temporizadores disponibles en el mercado. Se ha decidido recomendar la utilización del modelo SDRC-10IP PWM Solar Charge Crontoller de la empresa Remote Power.



Figura D.7: Temporizador SDRC-10IP PWM Solar Charge Crontoller, de la empresa Remote Power [32].

La empresa vendedora proporciona algunas características de este regulador en su página web:

- Corriente máxima/nominal: 10A.
- Tensión nominal: 12/24V.
- Dimensiones: 140x90, 5x27, 2mm.
- Peso: 0,25kg.
- Modo de control: PWM.
- Ajuste del tiempo de trabajo.
- Protección contra sobrecarga, cortocircuito y conexión inversa.
- Temperatura de trabajo: -35°C/+55°C.
- Certificado ISO9001 certificado del CE RoHS.

Para obtener más información se recomienda aconseja visitar la página oficial de la empresa vendedora donde puede encontrarse la ficha técnica.

Aunque se ha recomendado un modelo para cada una de las dos formas propuestas para controlar el encendido y el apagado de la luminaria, se tiene que hacer constar que para el tipo de instalación que se va a realizar es más adecuado emplear el temporizador, porque se pretende alumbrar 8 horas diarias con farolas autónomas.